



National Aeronautics and Space Administration
Desarrollado en colaboración con
Agricultura y Agroalimentación de Canadá.



openicus



Clasificación de Cultivos Agrícolas con Radar de Apertura Sintética y Teledetección Óptica

1^{ra} Parte 1: Repaso de Radar de Apertura Sintética (SAR)

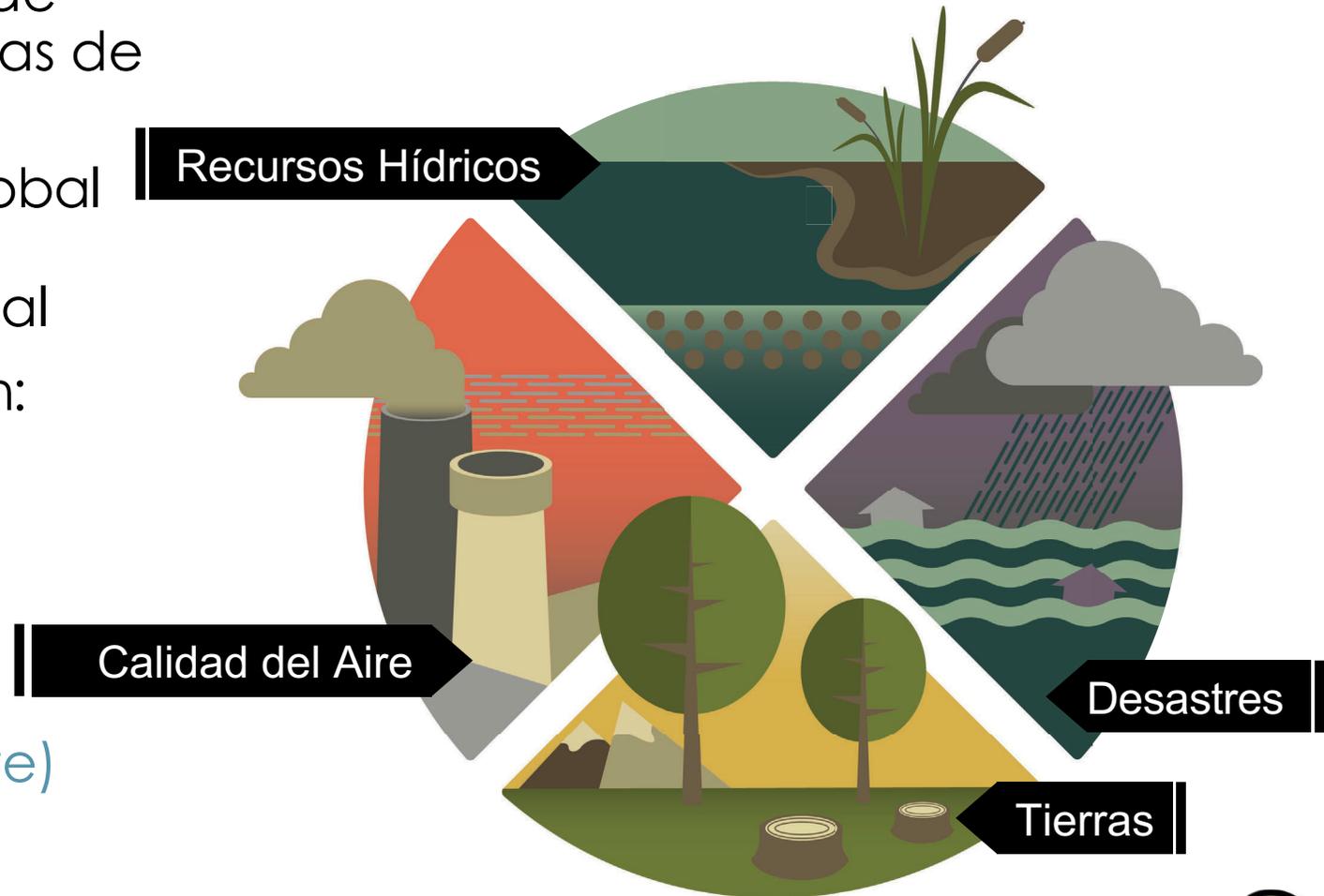
Heather McNairn (AAFC) - 5 de octubre de 2021

NASA Applied Remote Sensing Training Program (ARSET)

(Programa de Capacitación de Teledetección Aplicada de la NASA)

<http://appliedsciences.nasa.gov/arset>

- Parte del Programa de Fomento de Capacidades Científicas Aplicadas de la NASA
- Empoderando a la comunidad global a través de la capacitación de teledetección en línea y presencial
- Temas para capacitaciones incluyen:
 - Recursos Hídricos
 - Calidad del Aire
 - Desastres
 - Tierras
 - **Clima y Energía (próximamente)**



NASA Applied Remote Sensing Training Program (ARSET)

(Programa de Capacitación de Teledetección Aplicada de la NASA)

<https://appliedsciences.nasa.gov/what-we-do/capacity-building/arset>

- ARSET anhela fomentar el uso de las ciencias terrestres en la toma de decisiones a través de capacitaciones para:
 - Profesionales en el sector público y privado
 - Gestores ambientales
 - Formuladores de políticas

Todos los materiales de ARSET están gratuitamente disponibles para su uso y adaptación a su plan de estudio. Si Ud. utiliza los métodos y datos presentados en las capacitaciones de ARSET, por favor incluya una nota de reconocimiento al Programa de Capacitación de Teledetección Aplicada de la NASA (ARSET).



Formato de la Capacitación

- Cinco presentaciones de 2 horas y media incluyendo un tiempo para preguntas y respuestas
- Se presentará el mismo contenido en dos diferentes horarios cada día.
- La Sesión A se dictará en **inglés**.
- La Sesión B se dictará en **español**.
 - Sesión A: 10h a 12h30 Horario Este de EE.UU (UTC-4)
 - Sesión B: 13h a 15h30 EST (UTC-4)

- Los materiales y las grabaciones de la capacitación se podrán encontrar en la siguiente página:

<https://appliedsciences.nasa.gov/join-mission/training/spanish/arset-clasificacion-de-cultivos-agricolas-con-radar-de-apertura>



Tarea y Certificado

- Se asignará una tarea:
 - Debe enviar sus respuestas vía Formularios de Google
 - Fecha de entrega: 2 de noviembre de 2021
- Se otorgará un certificado de finalización de curso a quienes:
 - Asistan a todas las sesiones en vivo
 - Completen la tarea dentro del plazo estipulado (acceso desde la página web de ARSET)
 - Recibirán sus certificados aproximadamente dos meses después de la conclusión del curso de: marines.martins@ssaihq.com



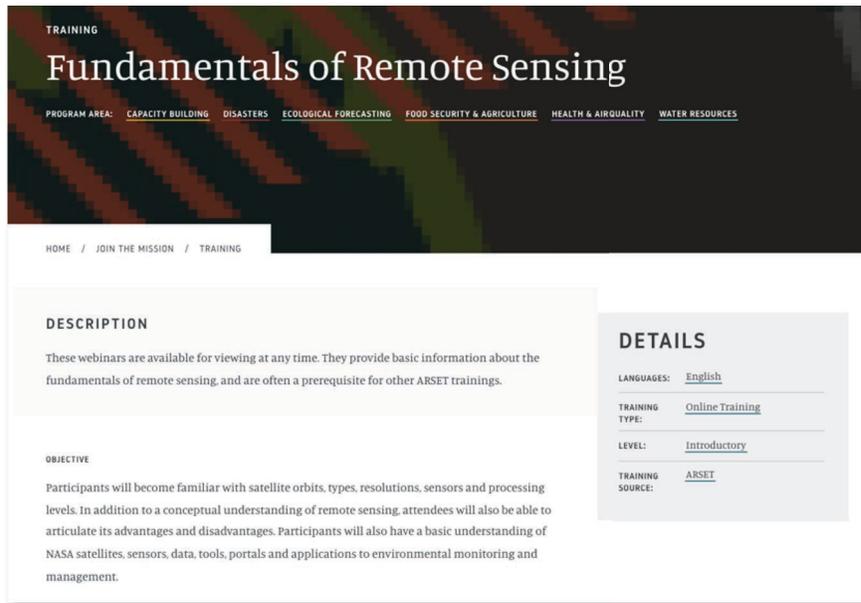
Prerrequisitos

- Fundamentos de la Percepción Remota (Teledetección):

https://appliedsciences.nasa.gov/sites/default/files/2020-11/Fundamentals_Session1_Spanish.pdf

- Introducción al Radar de Apertura Sintética:

<https://appliedsciences.nasa.gov/join-mission/training/spanish/arset-introduccion-al-radar-de-apertura-sintetica>



TRAINING

Fundamentals of Remote Sensing

PROGRAM AREA: CAPACITY BUILDING DISASTERS ECOLOGICAL FORECASTING FOOD SECURITY & AGRICULTURE HEALTH & AIRQUALITY WATER RESOURCES

HOME / JOIN THE MISSION / TRAINING

DESCRIPTION

These webinars are available for viewing at any time. They provide basic information about the fundamentals of remote sensing, and are often a prerequisite for other ARSET trainings.

OBJECTIVE

Participants will become familiar with satellite orbits, types, resolutions, sensors and processing levels. In addition to a conceptual understanding of remote sensing, attendees will also be able to articulate its advantages and disadvantages. Participants will also have a basic understanding of NASA satellites, sensors, data, tools, portals and applications to environmental monitoring and management.

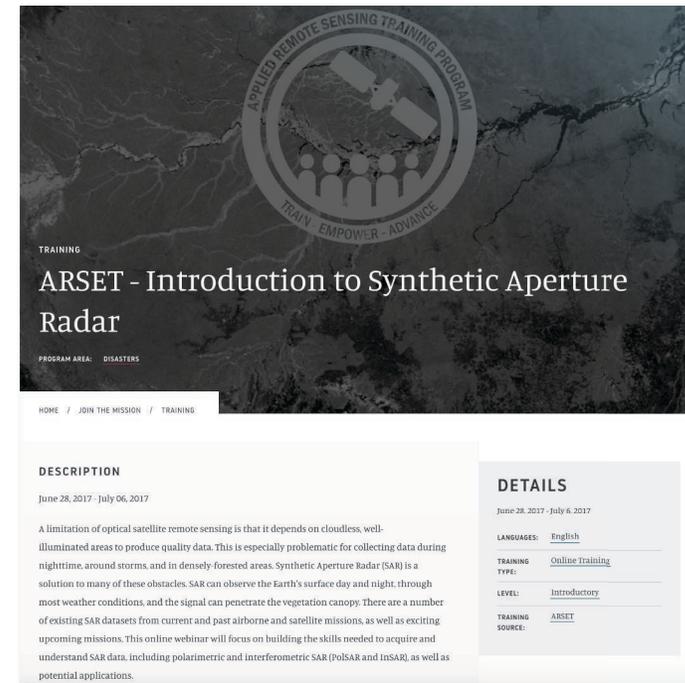
DETAILS

LANGUAGES: [English](#)

TRAINING TYPE: [Online Training](#)

LEVEL: [Introductory](#)

TRAINING SOURCE: [ARSET](#)



APPLIED REMOTE SENSING TRAINING PROGRAM

TRAIN - EMPOWER - ADVANCE

TRAINING

ARSET - Introduction to Synthetic Aperture Radar

PROGRAM AREA: DISASTERS

HOME / JOIN THE MISSION / TRAINING

DESCRIPTION

June 28, 2017 - July 06, 2017

A limitation of optical satellite remote sensing is that it depends on cloudless, well-illuminated areas to produce quality data. This is especially problematic for collecting data during nighttime, around storms, and in densely-forested areas. Synthetic Aperture Radar (SAR) is a solution to many of these obstacles. SAR can observe the Earth's surface day and night through most weather conditions, and the signal can penetrate the vegetation canopy. There are a number of existing SAR datasets from current and past airborne and satellite missions, as well as exciting upcoming missions. This online webinar will focus on building the skills needed to acquire and understand SAR data, including polarimetric and interferometric SAR (PolSAR and InSAR), as well as potential applications.

DETAILS

June 28, 2017 - July 6, 2017

LANGUAGES: [English](#)

TRAINING TYPE: [Online Training](#)

LEVEL: [Introductory](#)

TRAINING SOURCE: [ARSET](#)



Esquema de la Capacitación

5 de octubre de 2021

Repaso de Radar de Apertura Sintética (SAR)

7 de octubre de 2021

Repaso de la Teledetección Óptica e Introducción a SNAP

12 de octubre de 2021

Mapa Operativo de la Clasificación de Cultivos Usando Imágenes Ópticas y SAR (1^{ra} Parte)

14 de octubre de 2021

Mapa Operativo de la Clasificación de Cultivos Usando Imágenes Ópticas y SAR (2^{da} Parte)

19 de octubre de 2021

Recuperación de Variables Biofísicas Usando Imágenes Ópticas en apoyo a las Prácticas de Monitoreo Agrícola



Objetivos de la Capacitación

Al concluir esta capacitación, las/los participantes aprenderán:

- La física detrás de la formación de imágenes SAR
- El impacto de las características del suelo y los cultivos en la respuesta de SAR
- Los parámetros de sensores óptimos para aplicaciones agrícolas



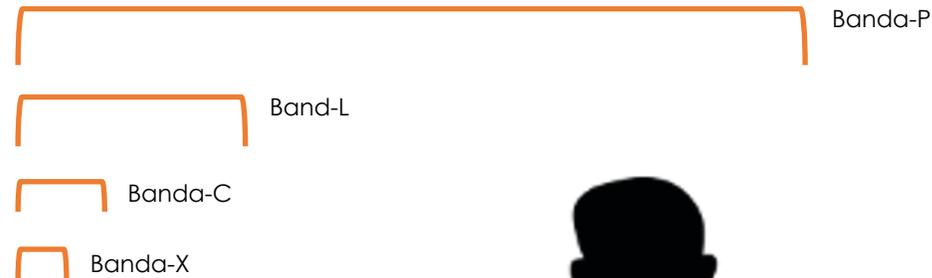


Repaso de RADAR

La Región de Microondas del Espectro Electromagnético

- Ondas entre 1 cm y 1 m de longitud
- Regiones de microondas identificadas por longitud de onda y frecuencia

Frequency band	Wavelength (cm)	Frequency (GHz)
Ka	0.8-1.1	40 - 26.5
K	1.1-1.7	26.5 - 18
Ku	1.7-2.4	18 - 12.5
X	2.4-3.8	12.5 - 8
C	3.8-7.5	8 - 4
S	7.5-15	4 - 2
L	15 -30	2 - 1
P	30 -100	1 - 0.3



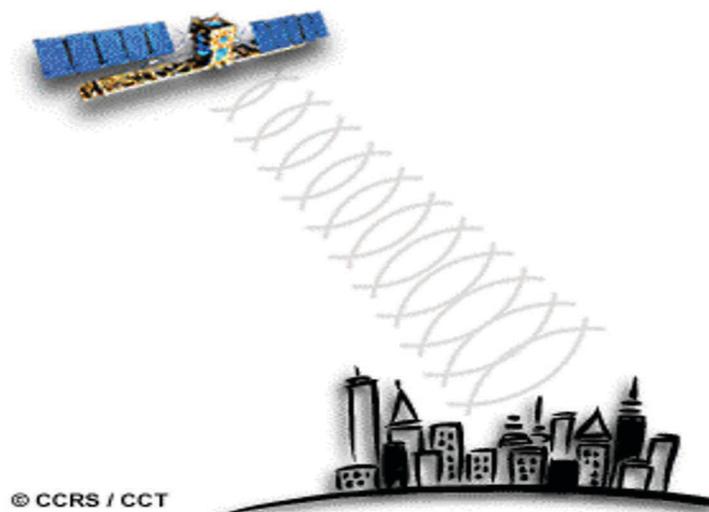
RAdio Detection And Ranging* - RADAR

*Detección y Distanciometría de Radio en inglés

Los radares son sistemas activos – generan su propia fuente de energía.

Detección – Los radares emiten, o propagan, una señal de microondas (o *radio*) con propiedades conocidas. La fuerza de la energía “*dispersada de vuelta*” o “*retrodispersada*” por el blanco es detectada por el radar.

Distanciometría – Los radares también miden el tiempo que demora la señal de microondas emitida por la antena del radar en desplazarse al blanco y después volver a la antena. Con esta información, los radares pueden determinar la ubicación de un blanco.



Distancia al Blanco

$$R = \frac{c \cdot t}{2}$$

R = Distancia (Range) (m)
c = Vel. de la Luz (3×10^8 m/s)
t = Tiempo (s)

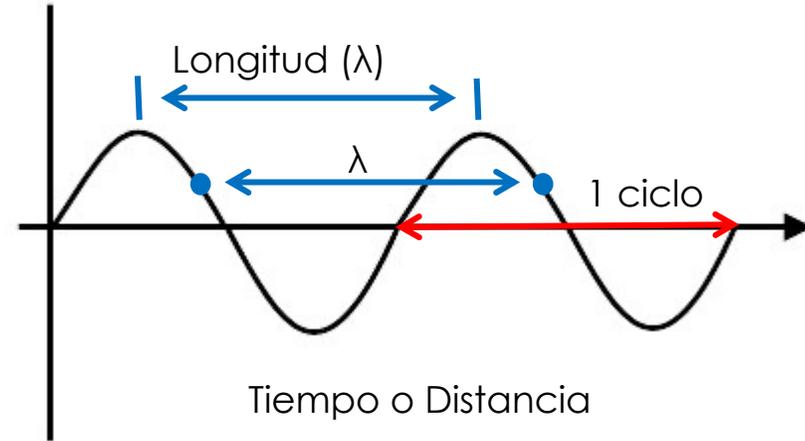


Frecuencia y Longitud de Onda

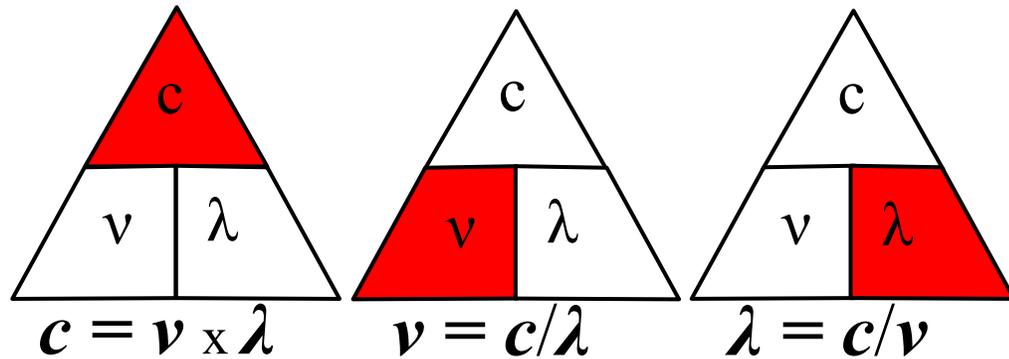
Longitud de onda (m): El largo de un ciclo de una onda



Frecuencia (Hz): El número de oscilaciones por unidad de tiempo



Existe una relación inversa entre longitud de onda (λ) y frecuencia (ν).



c = velocidad de la luz (3×10^8 m/s)

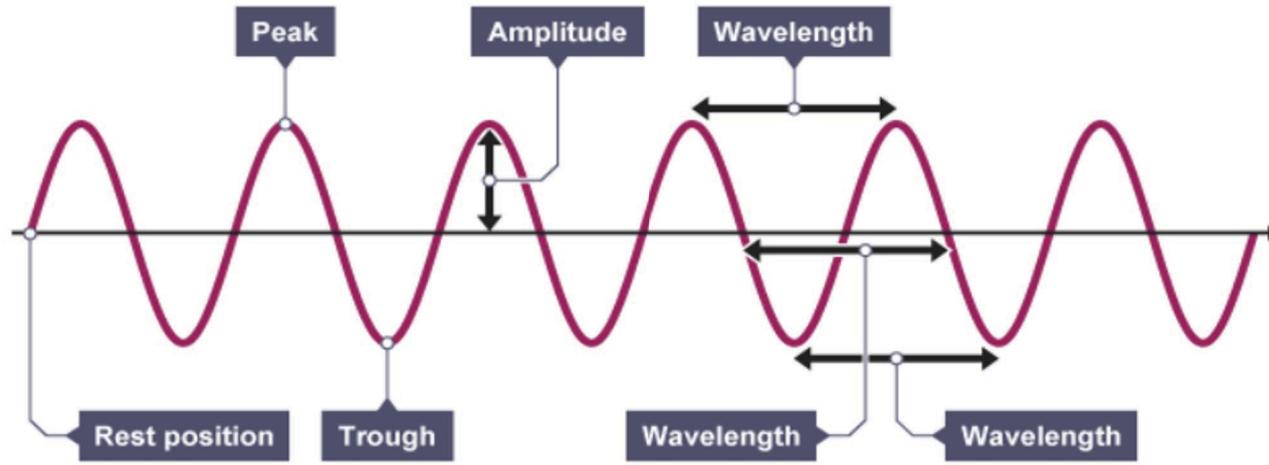
λ = longitud de onda (m)

ν = frecuencia (Hercios [Hz])

1 Hz = un ciclo por segundo



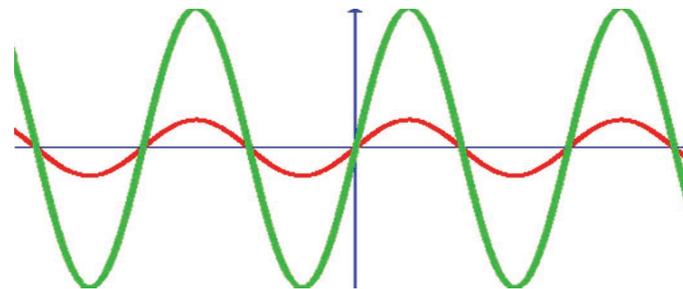
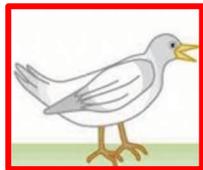
Intensidad de una Onda



Amplitud: El máximo desplazamiento de una onda de su posición de equilibrio o medio

Intensidad: El promedio de potencia transferida durante un período de la onda

$$\text{Intensidad} = (\text{Amplitud})^2$$



Fuente de la Imagen: www.bbc.com/bitesize/guides/zqf97p3/revision/1



Fase

Fase: Posición de un punto en el tiempo en el ciclo de una onda, medida en grados o radianes. La posición de una onda en el **tiempo** o el **espacio**.

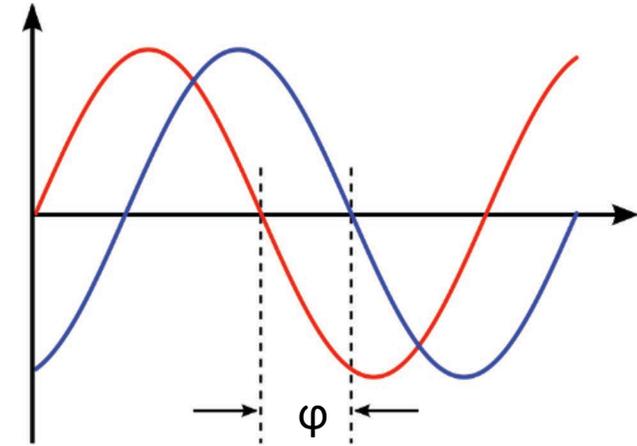
Diferencia de fase (ϕ): El desfase, en el tiempo o el espacio, de una onda con respecto a otra.

Se considera que dos ondas están en fase si sus orígenes de fase (el punto 0 grados) están perfectamente alineados. Cuando este criterio no se cumple, se dice que las ondas están fuera de fase.

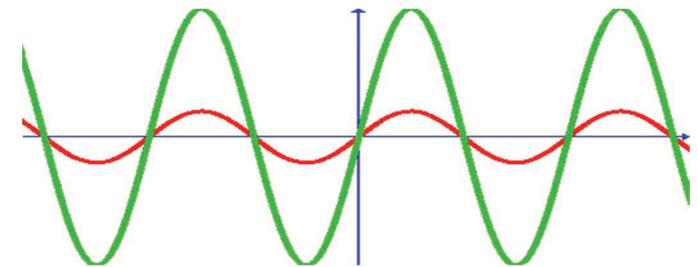
¿Esto Por Qué Es importante?

- Es parte clave del SAR tanto interferométrico como polarimétrico.
- La diferencia de fase es afectada por la estructura del blanco.
- Durante la generación de ondas, el desfase determina cómo una onda se propaga.

Amplitudes Iguales; Fuera de Fase



Diferentes Amplitudes; En Fase



Fuente de la Imagen: [https://en.wikipedia.org/wiki/Phase_\(waves\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Phase_(waves))

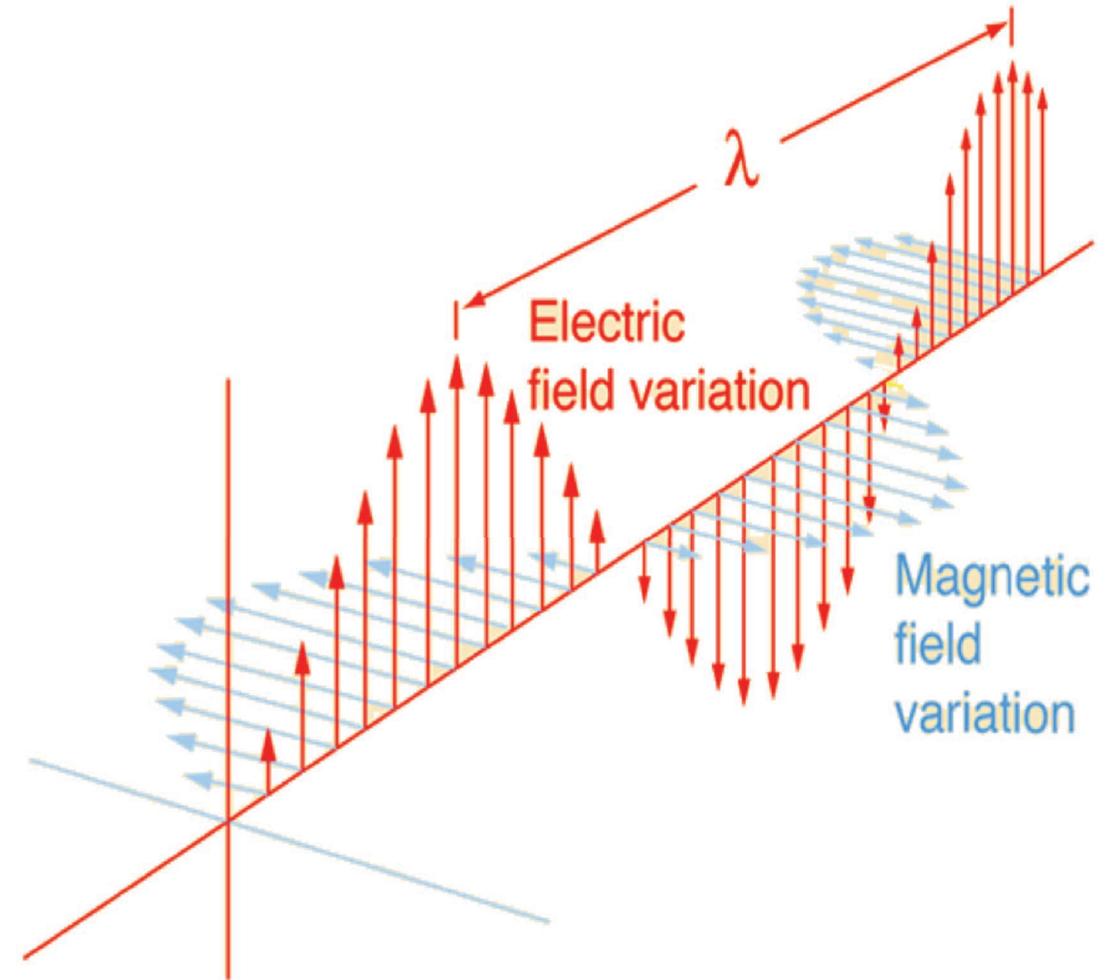


Polarización de Radar

Campos Electromagnéticos (EM):

Oscilaciones sincronizadas de campos eléctricos y magnéticos que se propagan a la velocidad de la luz

Polarización: Orientación del campo eléctrico de la onda EM



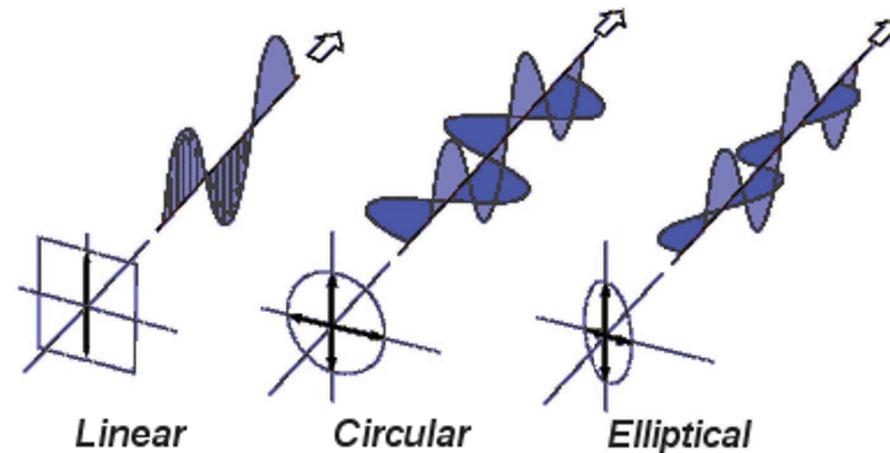
Fuente de la Imagen: Hyperphysics



¿Cómo Se Propagan las Ondas?

Polarización	Desfase entre los dos componentes perpendiculares (E_H y E_V) del campo electromagnético	
Lineal	Cero grados	La más comúnmente utilizada en SAR (H o V)
Circular	90 grados	Disponible en algunos nuevos sensores de SAR
Elíptica	Un desfase que no sea de 90 grados	Como la mayoría de las ondas en el ambiente

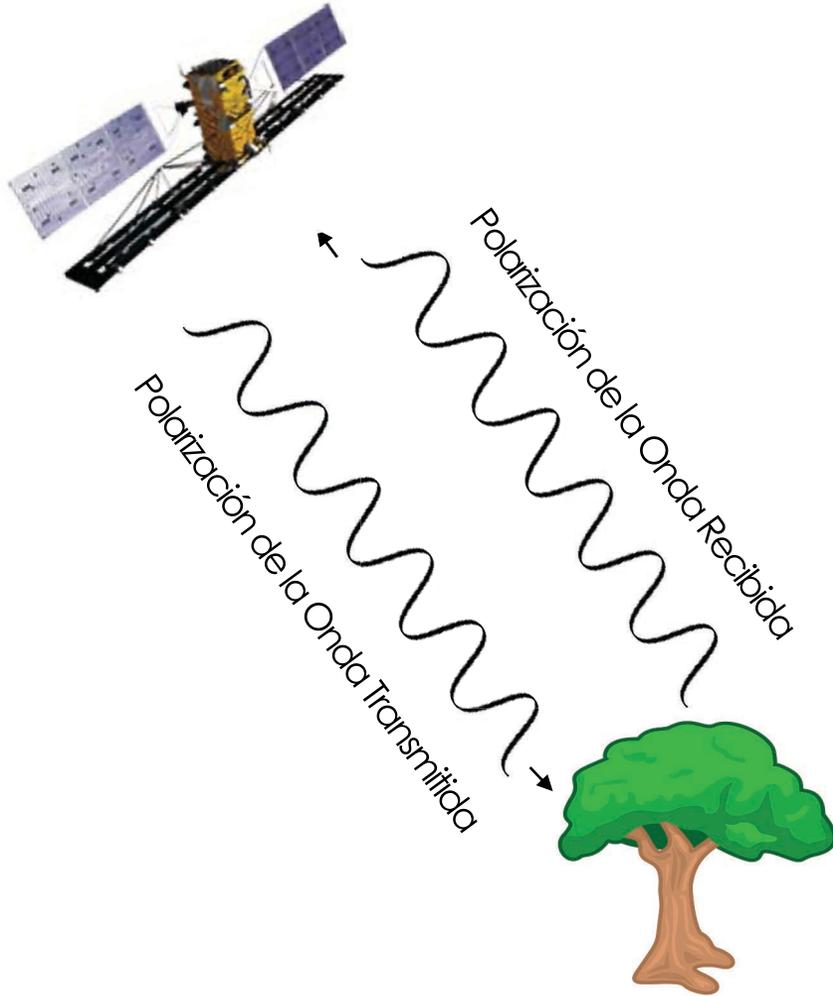
Polarization of electromagnetic waves



Fuente de la Imagen: www.blazelabs.com/f-g-rpress.asp



Polarizaciones de Ondas Transmitidas y Recibidas



Los radares son activos:

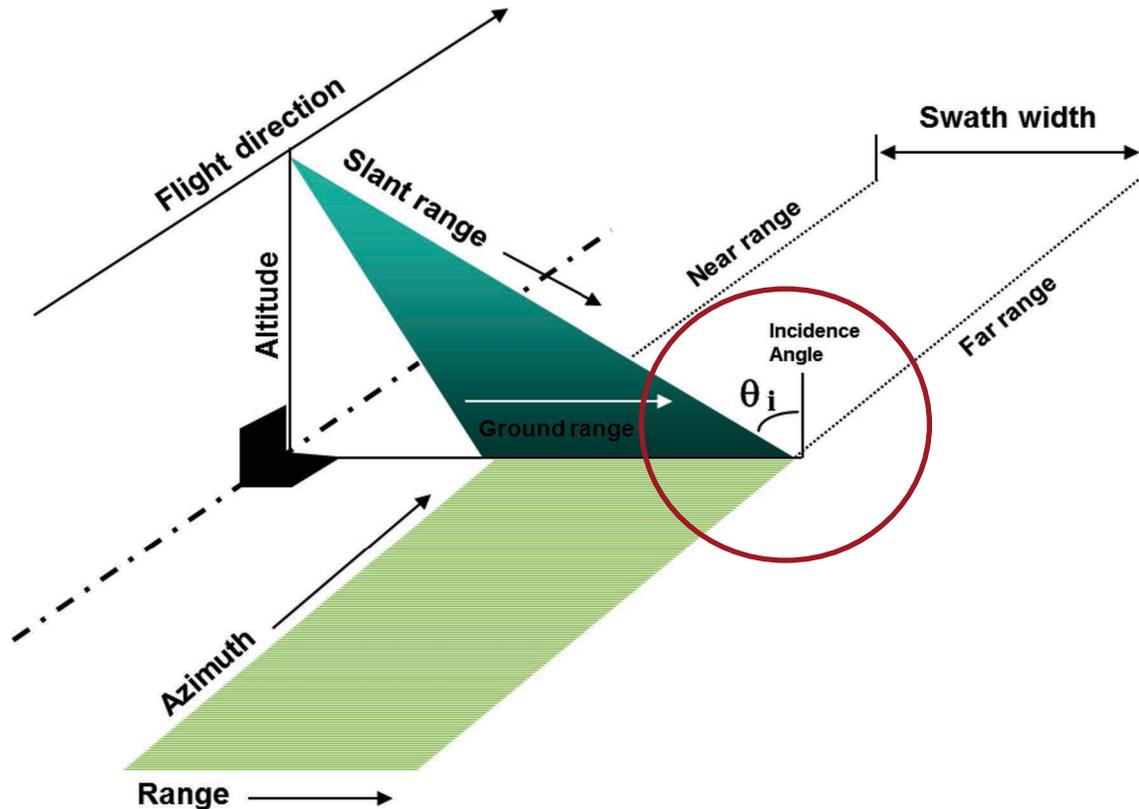
- Emiten ondas con una polarización fija
- Miden la intensidad y fase de la energía dispersada en una o más polarizaciones

Los datos de radar se describen según ambas polarizaciones, la de la onda transmitida, y también la de las ondas dispersadas recibidas y registradas

- HH (transmite H y recibe H)
- VV (transmite V y recibe V)
- HV (transmite H y recibe V)
- VH (transmite V y recibe H)



Ángulo de Incidencia



El ángulo de incidencia es el ángulo entre el haz de radar y una línea perpendicular a la superficie observada.

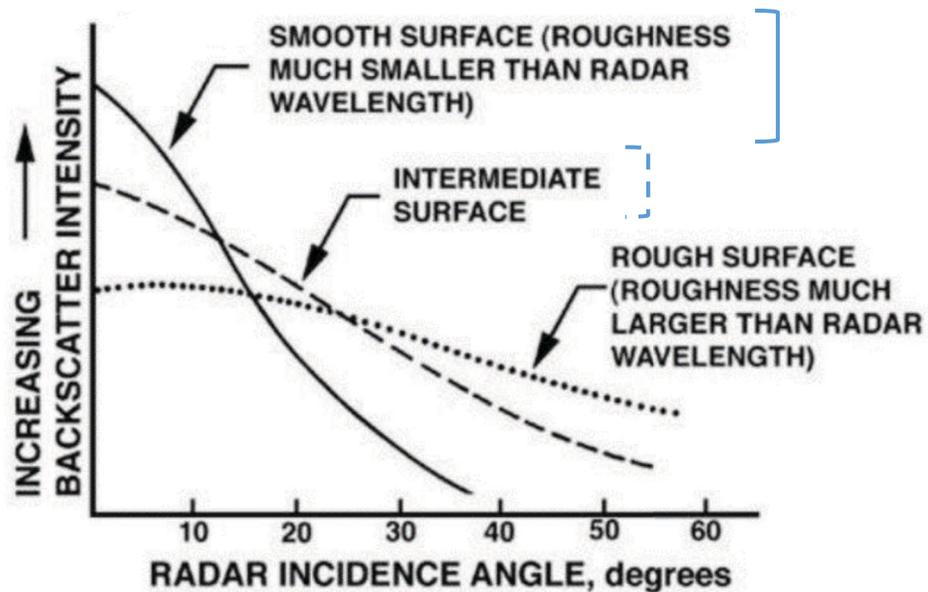
El ángulo de incidencia de SAR determina:

- La contribución a la retrodispersión de los diferentes elementos del blanco
- Cuán rugoso el blanco le parece al SAR. Las superficies se ven "más lisas" a mayores ángulos.
- Cuán profundamente la señal de microondas penetra en el blanco



Ángulo de Incidencia

- La retrodispersión se disminuye con un mayor ángulo de incidencia.
- La tasa y función de la disminución son específicas al blanco.
- Como resultado, cuando un radar está observando el mismo blanco a diferentes ángulos, la retrodispersión será diferente.



Más Rugosa
Menor tasa de cambio con el
ángulo

Más Lisa
Mayor tasa de cambio con el
ángulo

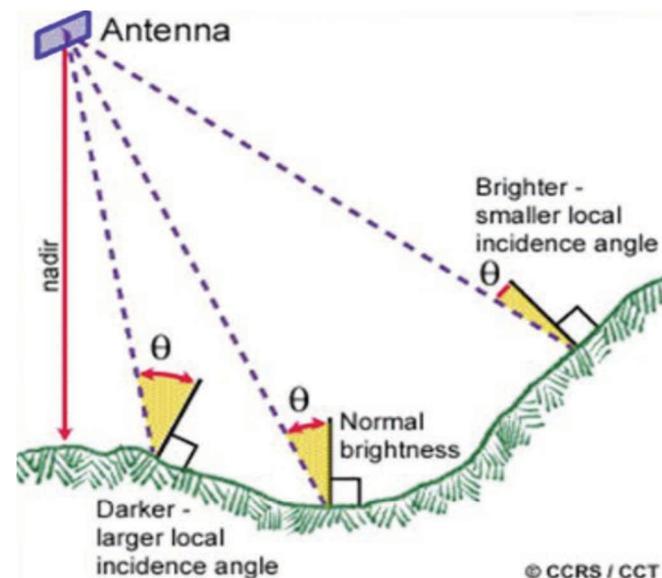
Fuente de la Imagen: saltftp.soest.hawaii.edu



Ángulo de Incidencia

Ángulo de Incidencia Local

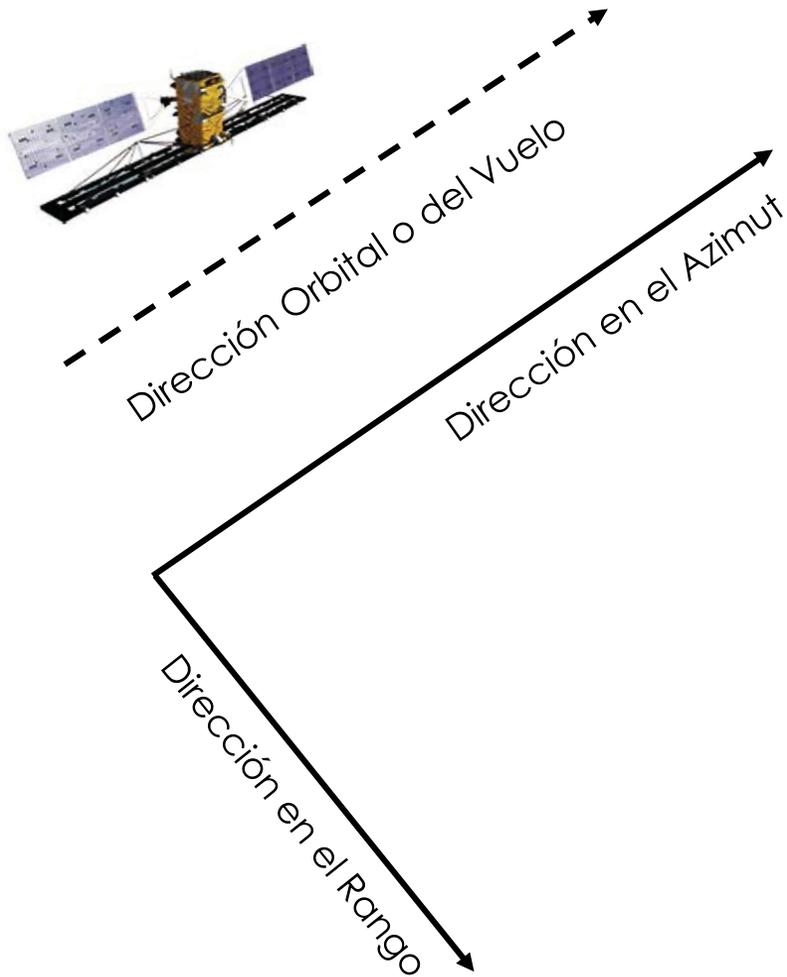
- El ángulo de incidencia local **no** es el mismo que el ángulo de incidencia.
- El ángulo de incidencia local toma en cuenta la pendiente local del terreno.
- Si la pendiente está inclinada hacia el radar — el ángulo de incidencia local es menor que el ángulo de incidencia normal (presuponiendo una superficie plana).



¿Por qué importa esto? Porque la retrodispersión del radar será mayor para pendientes inclinadas hacia el radar.



Geometría de Radar



Los radares miran hacia un lado – un requisito para poder medir la distancia del blanco.

Azimut: La dirección paralela a la trayectoria de la aeronave o de la órbita del satélite.

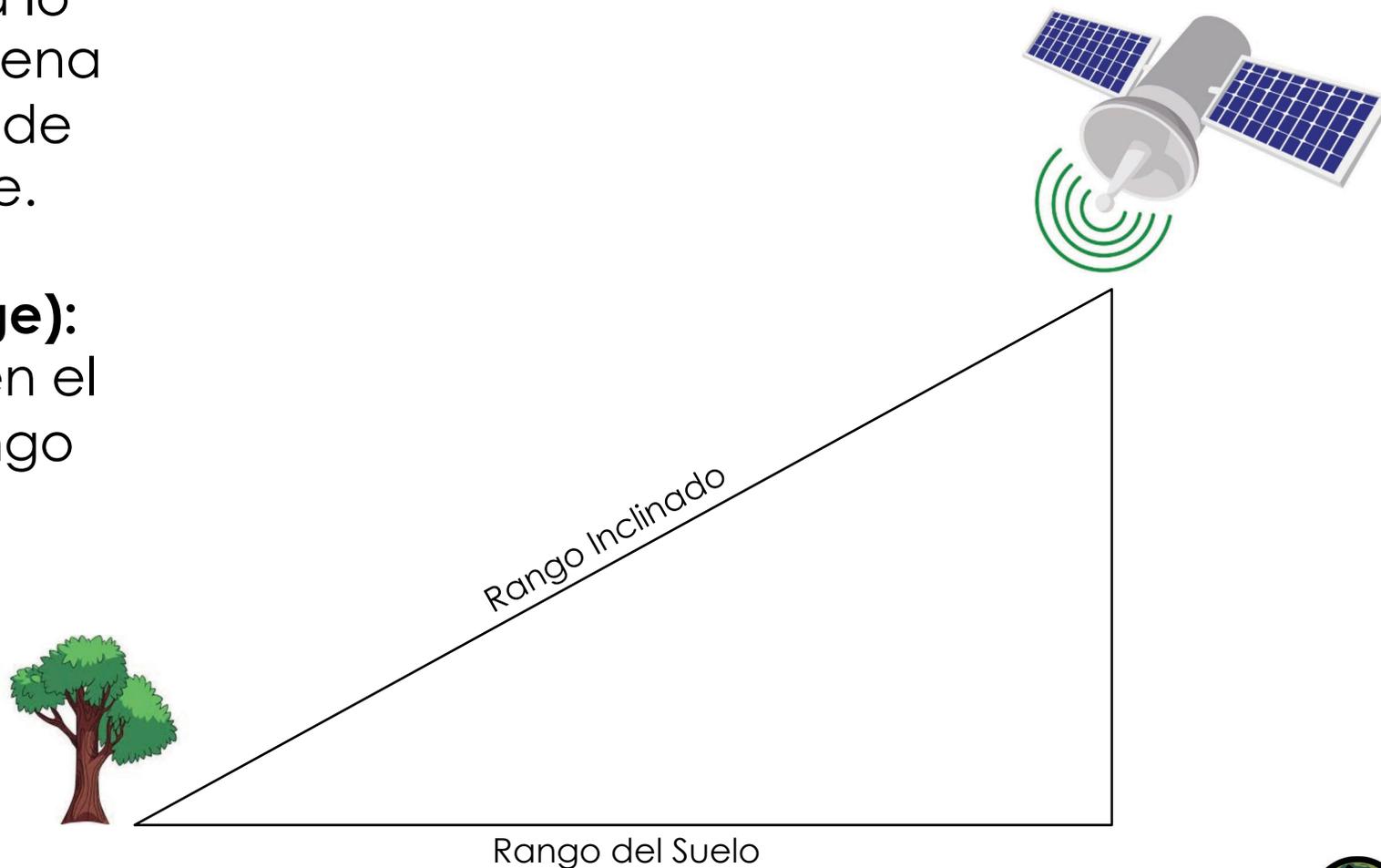
Rango: La dirección perpendicular a la trayectoria de la aeronave o del satélite.



Rango Inclinado y Rango del Suelo

Rango o Alcance Inclinado (Slant Range): La distancia medida a lo largo de una línea entre la antena y el blanco. Es la coordenada de observación natural del satélite.

Rango del Suelo (Ground Range): la distancia de la trayectoria en el suelo hasta un objeto. Es el rango inclinado proyectado sobre el geoide de la Tierra.

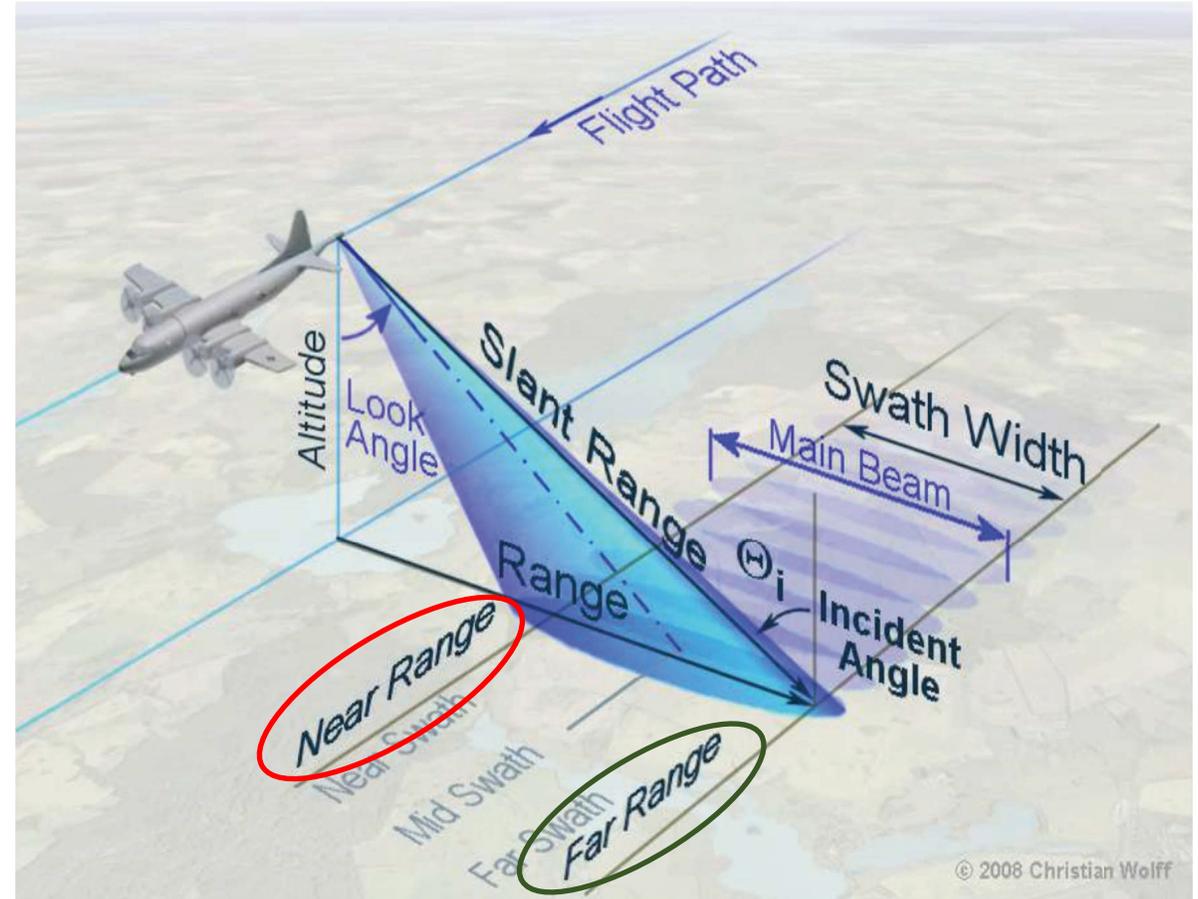


Geometría de Radar

Franja de Radar (Swath): La distancia del rango **cercano** al rango **lejano**.

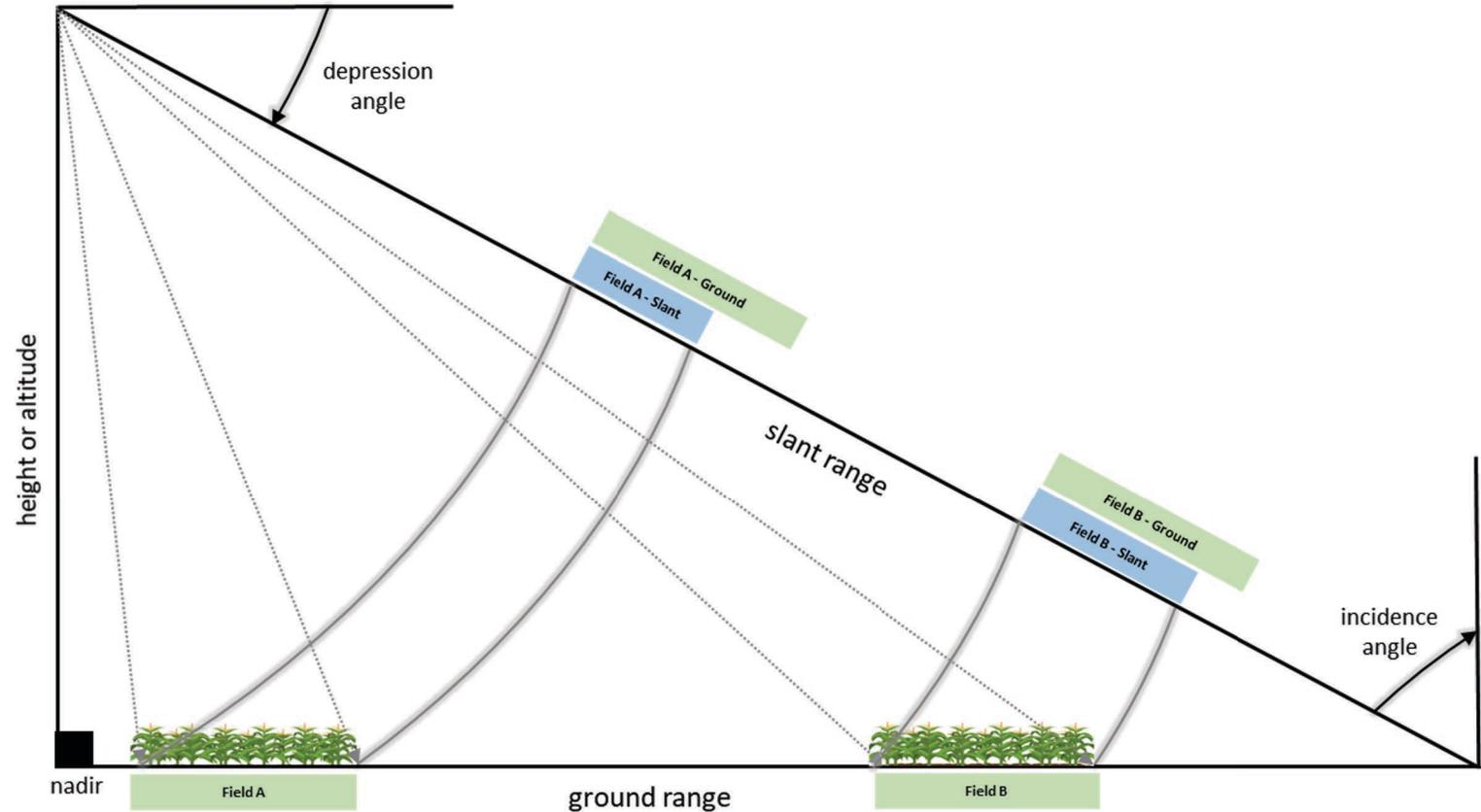
Ángulo Incidente (θ): El ángulo entre la línea visual del radar en el rango inclinado y una línea vertical al terreno.

El ángulo de incidencia cambia a lo largo del rango. En el rango cercano, el ángulo es **pequeño (más empinado)**. El ángulo es **mayor (más plano)** al extremo lejano del rango.



Geometría de Radar

- En el rango inclinado (la geometría visual natural de SAR) las distancias se comprimen con respecto a su verdadera distancia en el rango del suelo.
- El grado de compresión es una función de la distancia de la antena al blanco (en el rango inclinado).



Conversión del Rango Inclinado al Rango del Suelo

- Los datos del rango inclinado se pueden convertir en datos del rango del suelo mediante un proceso de remuestreo.
- Esto requiere conocimiento de la geometría de las imágenes, la altura de la plataforma, la latencia del rango y la elevación del terreno.

Rango Inclinado



RADARSAT-2 (adquirido el 3 de julio de 2016, FQ15W). Imagen de rango inclinado (R: HH G: HV B:VV), en la que las **distancias se miden entre la antena y el blanco**.

Rango del Suelo

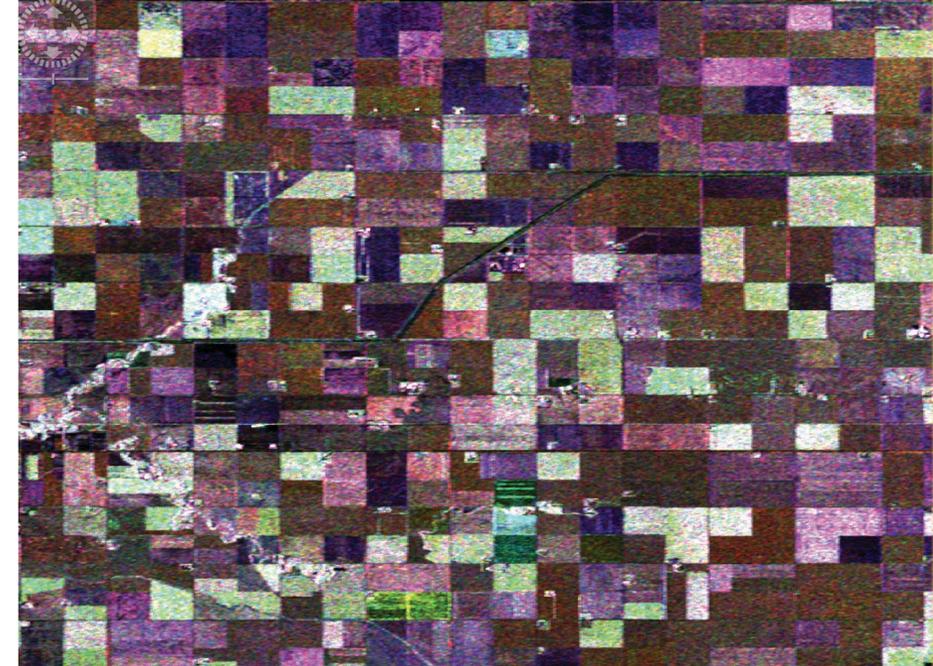
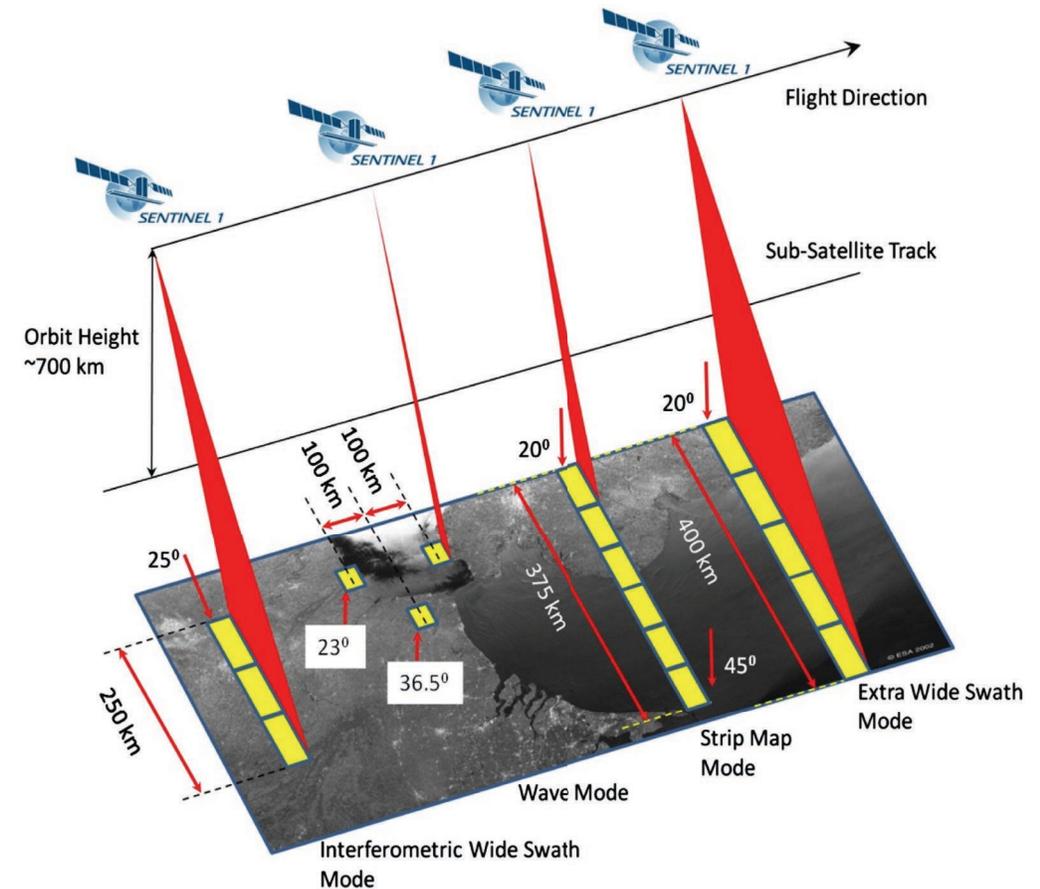


Imagen de rango del suelo en la que las **distancias se miden entre la trayectoria de la plataforma en el suelo y el blanco** y colocadas en la posición correcta en el plano de referencia geográfica.



Ángulo de Incidencia

- El ángulo de incidencia cambia de la parte cercana a la parte lejana de la franja. Para modos con la franja muy grande, este cambio puede ser significativo e impacta fundamentalmente la retrodispersión de SAR.
- Los SAR satelitales pueden dirigir sus haces electrónicamente y permitir "**re-vistas**" más frecuentes hacia un blanco. Sin embargo, el ángulo de incidencia no va a ser igual entre estas imágenes de re-venta.
- Análisis multitemporal y detección de cambios: **tenga cuidado**. Combine imágenes con los mismos ángulos de incidencia para asegurarse que el cambio en la respuesta medida de SAR sea debido a los cambios en el blanco y no en el ángulo. Esto a menudo significa utilizar repeticiones de SAR exactas.



Fuente de la Imagen: sentinel.esa.int



Resolución en el Rango (Radar de Apertura Real)

Range resolution (δ_{range}) depends on the bandwidth (B_e) and is defined as

Rango Inclinado

$$\delta_{range} = \frac{c}{2 \times B_e}$$

Where

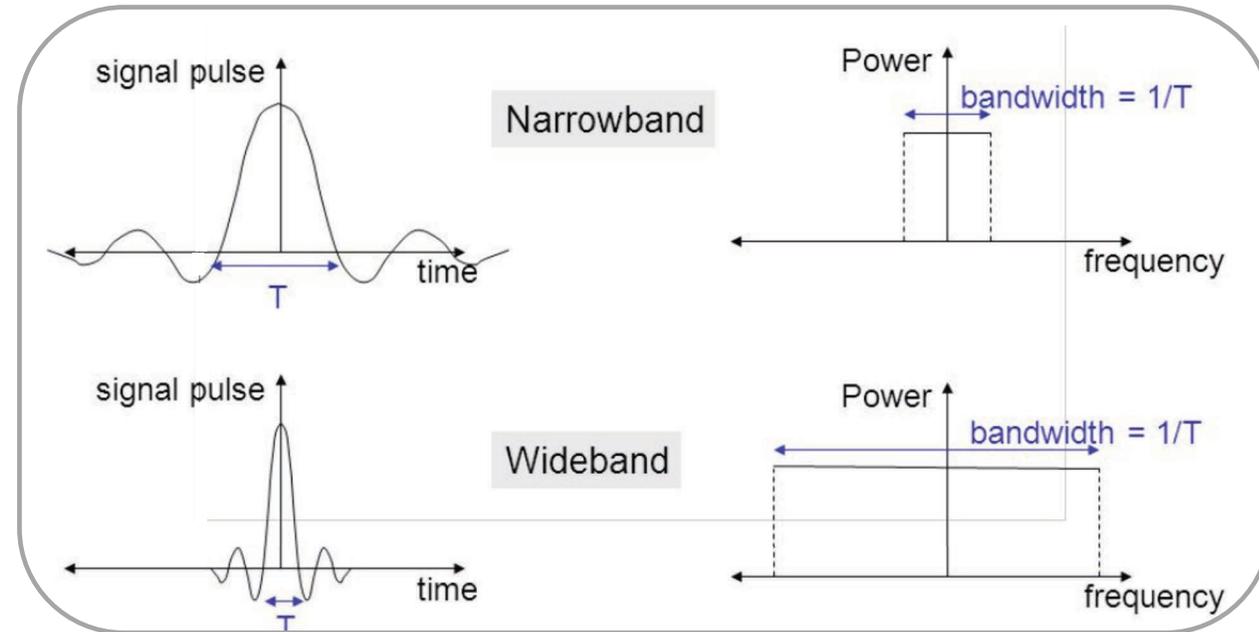
c : speed of light (3×10^8 m/s)

B_e : bandwidth (Hz)

Bandwidth is inversely related to pulse duration (τ)

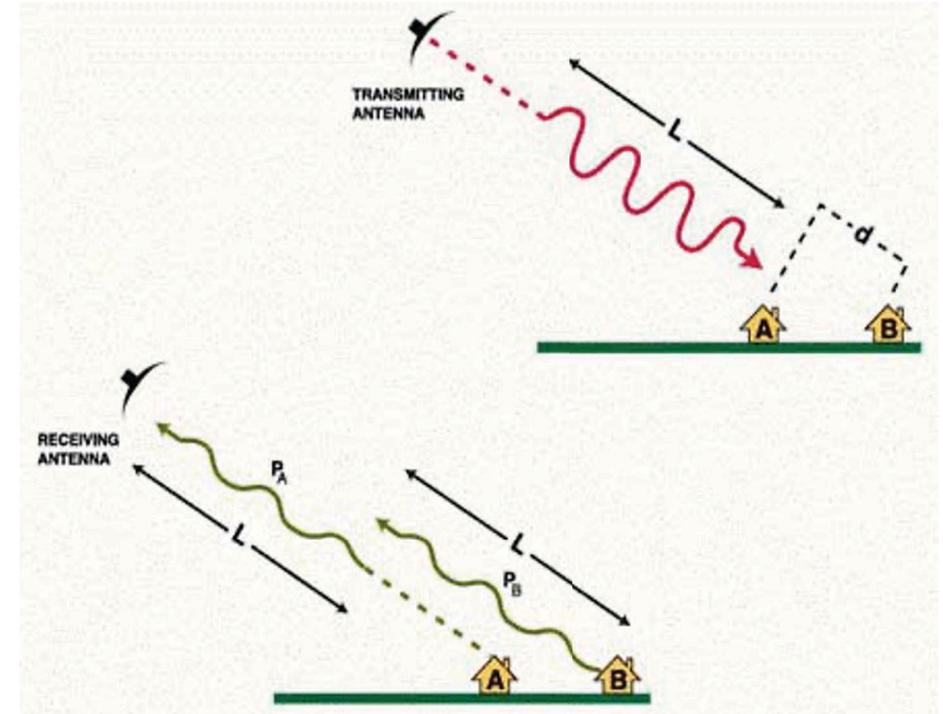
Pulse duration = the time the radar's transmitter is energized during each cycle

Large bandwidth = short pulse duration = short pulse length = **finer resolution**



Resolución en el Rango (Radar de Apertura Real)

- Los radares emiten pulsos cortos de energía y esperan para "escuchar" el eco del blanco entre estos pulsos transmitidos.
- Para que el radar pueda distinguir dos blancos, los ecos de cada uno deben recibirse en diferentes momentos.
- En el caso de dos edificios A y B, para que el radar "escuche" los ecos de A y B por separado, la distancia entre los edificios (en rango inclinado) debe ser mayor que la mitad de la longitud del pulso ($L/2$).
- La resolución del rango es igual a $L/2$ (la mitad de la longitud del pulso).



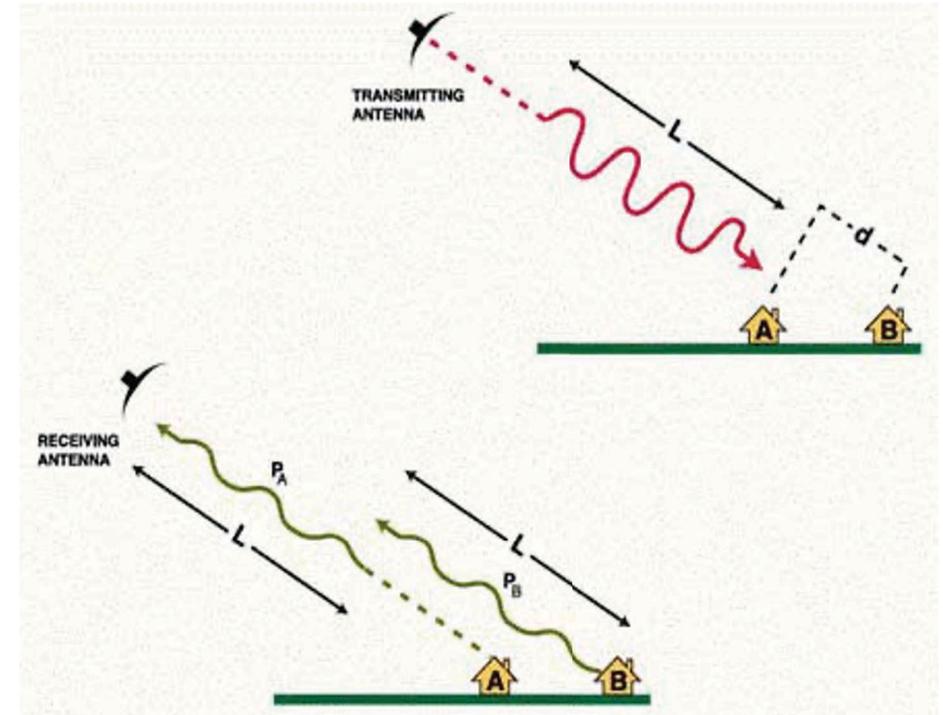
Ya que el pulso de radar debe desplazarse en dos direcciones diferentes, los dos edificios generarán ecos distintos si $d > L/2$.

Fuente de la Imagen: www.earth.esa.int



Resolución en el Rango (Radar de Apertura Real)

- La resolución en el rango se puede mejorar aumentando el ancho de banda (reduciendo el largo o la duración del pulso) del radar. Las longitudes de onda más cortas permiten un mayor ancho de banda.
- La compresión de pulsos es una técnica de procesamiento de señal que comúnmente se utiliza para mejorar la resolución en el rango.



Ya que el pulso de radar debe desplazarse en dos direcciones diferentes, los dos edificios generarán ecos distintos si $d > L/2$.

Fuente de la Imagen: www.earth.esa.int



Resolución en el Azimut (Radar de Apertura Real)

Azimuth resolution $\delta_{azimuth}$ depends on the length of the antenna and increases with range.

$$\begin{aligned}\delta_{azimuth} &= \beta \times R \\ &= \frac{\lambda}{D} \times R\end{aligned}$$

La resolución **deteriora** con:

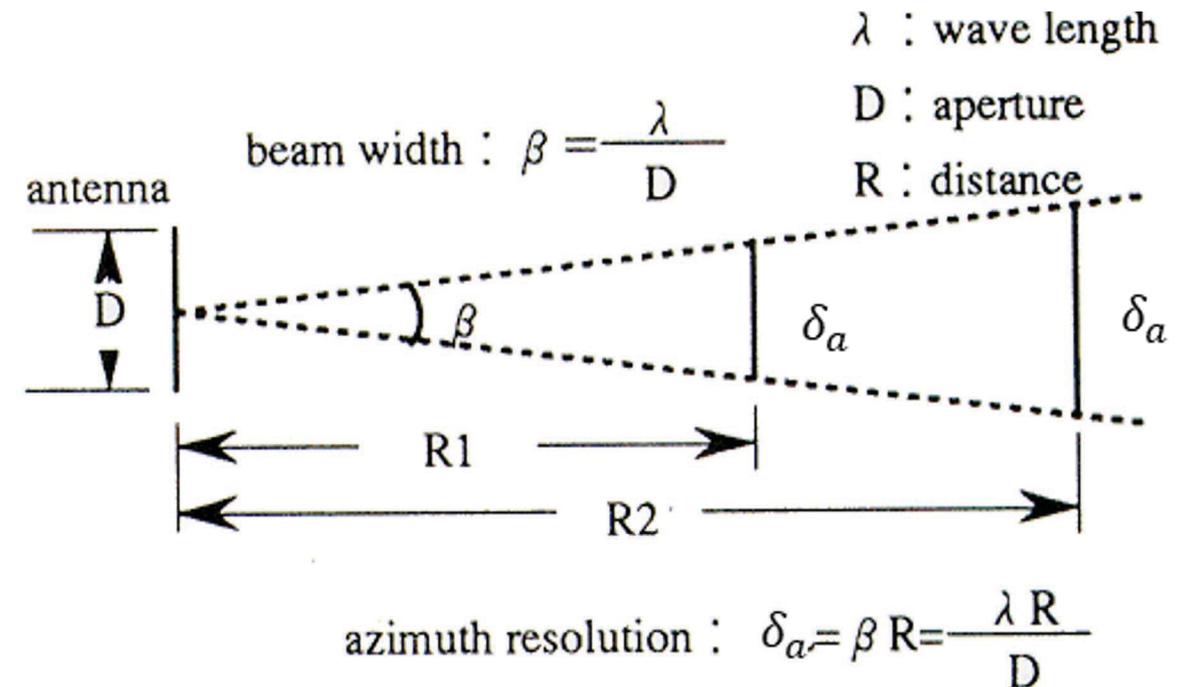
β = ancho de haz

λ = longitud de onda

R = distancia (rango inclinado) de la antena al punto medio de la franja

La resolución **mejora** con:

D = largo de la antena

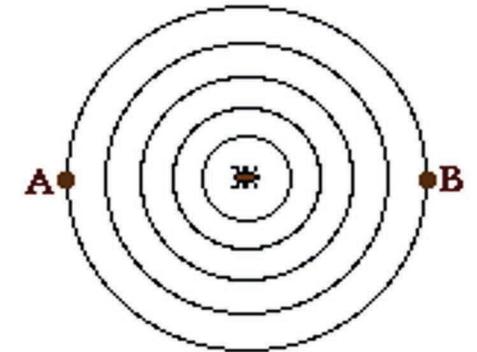


Fuente de la Imagen: sar.kangwon.ac.kr

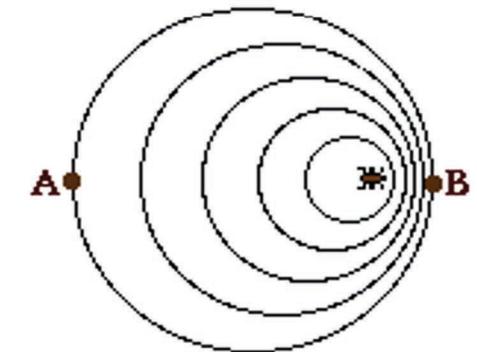


Radar de Apertura Sintética (SAR)

- 1951: Carl Wiley se dio cuenta que el efecto Doppler se podía utilizar para sintetizar una apertura mucho más larga para mejorar la resolución de un radar que mira hacia un lado.
- **El Efecto Doppler:** Es producido por una fuente de ondas en movimiento – se percibe un cambio ascendente en la frecuencia para los observadores hacia los que se acerca la fuente y un cambio descendente en la frecuencia para los observadores de los que la fuente se aleja. El efecto no es el resultado de un cambio real en la frecuencia de la fuente.



A stationary bug producing disturbances in water.



A bug moving to the right and producing disturbances.

Back Observer

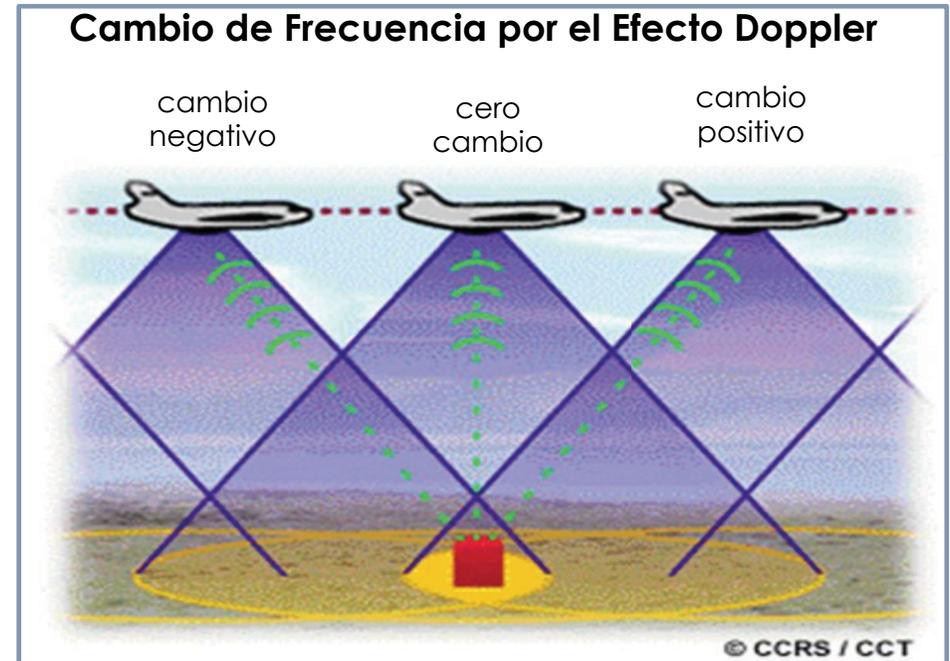
Source

Front Observer



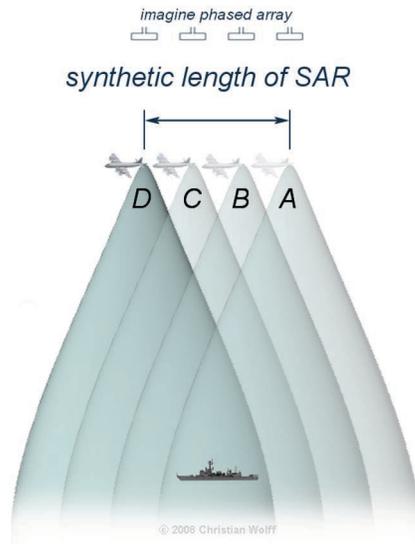
Radar de Apertura Sintética (SAR)

- Los radares están en movimiento – orbitan la Tierra – y emiten pulsos de energía constantes.
- Un SAR pasa por encima del blanco: los primeros ecos tendrán un efecto Doppler positivo; habrá cero efecto directamente sobre el blanco; y un efecto negativo mientras el blanco sale de entre los últimos ecos.



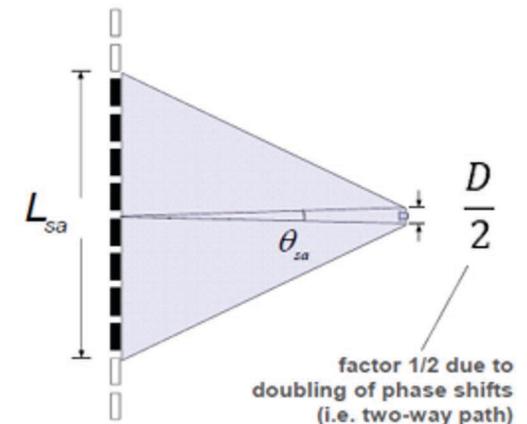
Radar de Apertura Sintética (SAR)

- Un procesador de SAR almacena todas las señales de retorno de radar para el período de tiempo T de la posición A a D (diferentes desplazamientos Doppler).
- Esto sirve para reconstruir la señal que hubiera obtenido una antena de largo $v \cdot T$, donde v es la velocidad de la plataforma.
- El hacer que T sea grande hace que la "apertura sintética" sea grande y por lo tanto se puede obtener una mayor resolución.
- Básicamente, al procesar juntas estas miradas al blanco más breves, la antena física (corta) "ve" cualquier punto en el suelo por un período más largo, lo que es equivalente a tener una antena virtual más larga y por lo tanto una mayor resolución en el azimut.
- La resolución que un SAR puede lograr en el azimut es aproximadamente igual a la mitad del largo de la antena real.



Azimuth resolution ($\delta_{azimuth}$) is half the length of the radar antenna (D).

$$\delta_{azimuth} = \frac{D}{2}$$



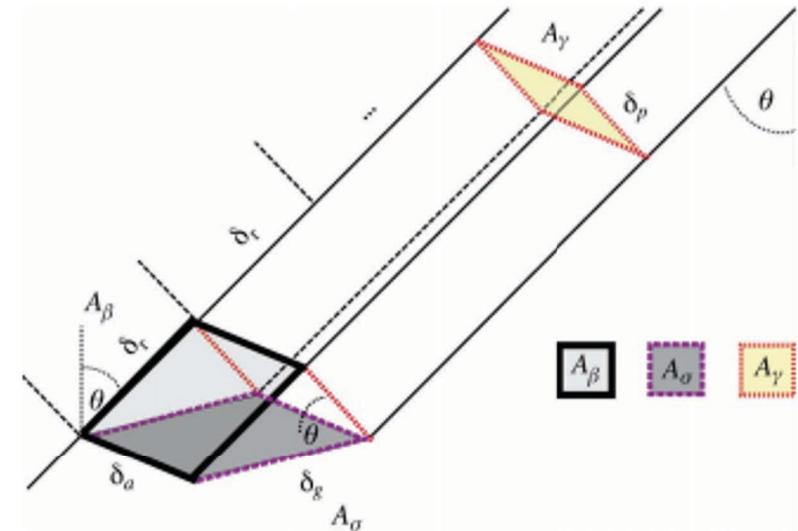
Reflectividad de SAR - Nomenclatura Importante

Beta Cero (β°)

- Reflectividad por unidad de área en un plano inclinado A_β 
- La radiométrica observable por defecto de un radar
- No requiere saber el ángulo de incidencia local

Gamma Cero (γ°)

- Reflectividad normalizada con respecto al área iluminada equivalente en el plano ortogonal inclinado A_γ 
- Las representaciones gráficas de γ° como ángulo de incidencia suelen ser más constantes que los gráficos que usan σ°
- Gamma cero puede reducir la dependencia del ángulo de incidencia de la retrodispersión de la señal de radar.



Fuente de la Imagen: Small, D. (2011). Flattening Gamma: Radiometric Terrain Correction for SAR Imagery. IEEE Transactions On Geoscience And Remote Sensing, 49: 3081-3093.

$$\sigma^\circ = \beta^\circ \sin \theta$$
$$\gamma^\circ = \beta^\circ \tan \theta$$

Fuente: Shimada, M., and Otaki, T. (2010). Generating continent-scale high-quality SAR mosaic datasets: Application to PALSAR data for global monitoring. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 3: 637-656.

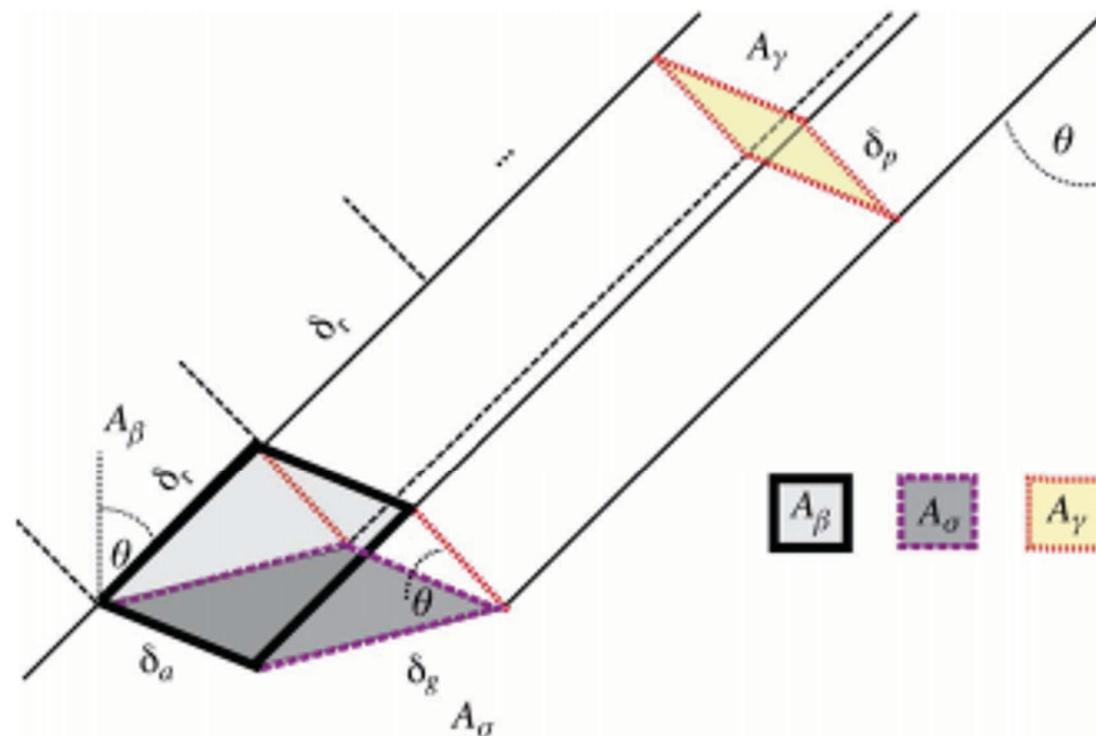


Reflectividad de SAR - Nomenclatura Importante

Sigma Cero (σ^0)

- Reflectividad media, normalizada con respecto al área iluminada A_σ equivalente en el plano horizontal del suelo.
- Presupone una superficie plana.
- Es el parámetro convencional utilizado para describir la reflectividad
- Es afectada por la pendiente local de la superficie
- Tiene una interpretación intuitiva más directa

$$\sigma^0 = \beta^0 \sin \theta$$
$$\gamma^0 = \beta^0 \tan \theta$$



Fuente de la Imagen: Small, D. (2011). Flattening Gamma: Radiometric Terrain Correction for SAR Imagery. IEEE Transactions On Geoscience And Remote Sensing, 49: 3081-3093.



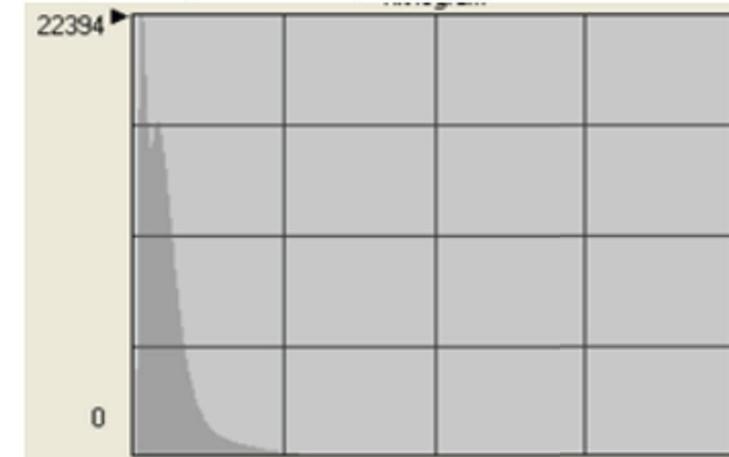
¿Para Qué Convertir a Decibeles (dB)?

- La gama de intensidades (retrodispersión) medida por los radares es ENORME.
- Para los blancos naturales, la mayor parte de la respuesta se encuentra entre las escalas lineales del 0 al 1.
- Para representar mejor estas respuestas, la retrodispersión (en unidades lineales) generalmente se convierte a decibeles o dB (escala logarítmica) mediante una simple conversión matemática.

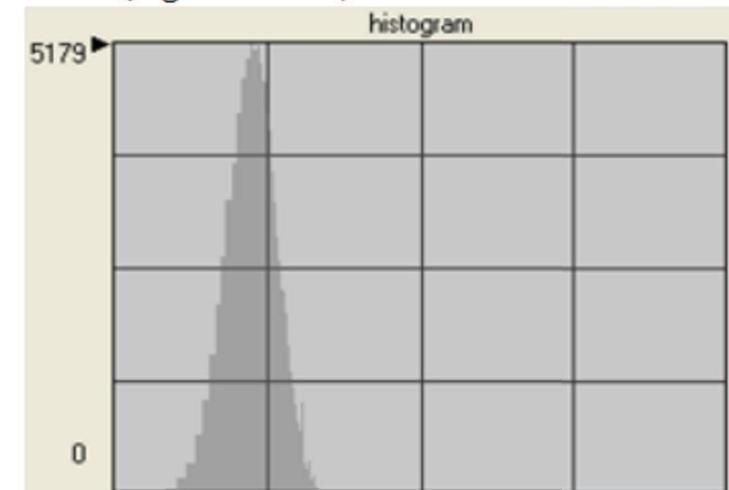
Si los datos están en Amplitud (A): $\sigma^0 = 20 * \log_{10} (A)$

Si los datos están en Intensidad (I): $\sigma^0 = 10 * \log_{10} (I)$

HV (non logarithmised)

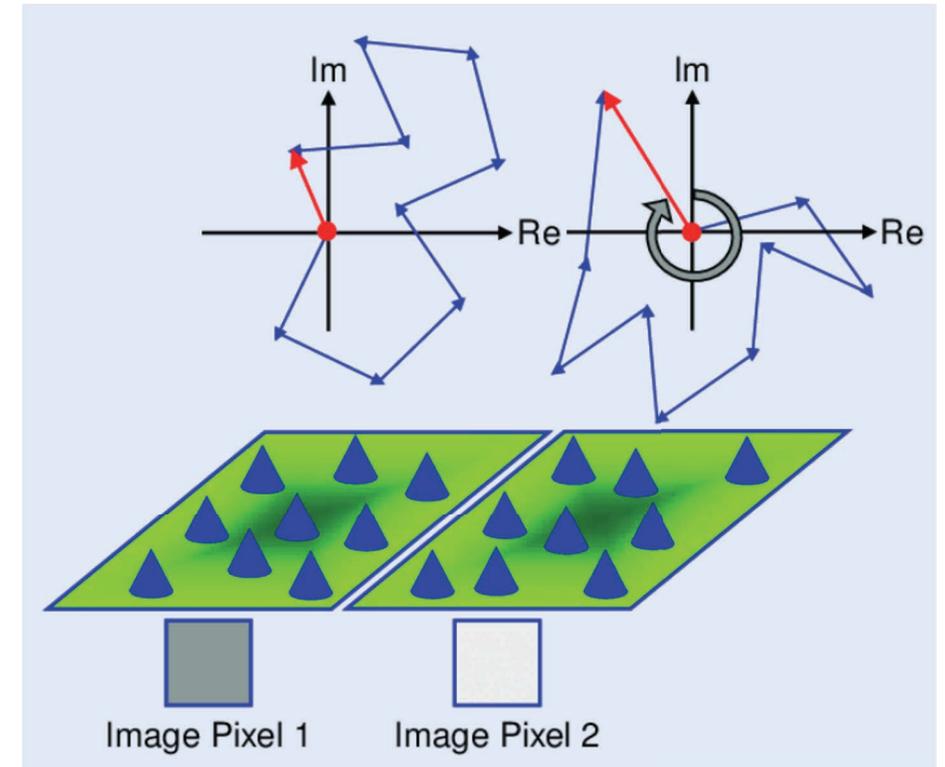


HV db (logarithmised)



Ruidos en SAR: Speckle

- Cada celda de resolución está compuesta de muchos elementos de dispersión, los cuales contribuyen a la dispersión.
- Estas ondas dispersadas tienen una fase determinada por los eventos de dispersión.
- La respuesta de cada celda de resolución es la suma de la amplitud y la fase de estos elementos de dispersión.
- Todas estas ondas dispersadas pueden provocar interferencias complejas. A veces, esto es constructivo (píxeles brillantes) y, a veces, destructivo (píxeles oscuros).
- El resultado es un ruido denominado "speckle" o moteado, tipo "sal y pimienta"



Fuente de la Imagen: Moreira, A., Prats-Iraola, P., Younis, M., Krieger, G., Hajnsek, I., and Papathanassiou, K. (2013). A Tutorial on Synthetic Aperture Radar. IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine



Supresión del Speckle

Hay dos formas de reducir el speckle.

- Procesamiento “Multi-Look”
- Promediación Espacial o Temporal
- El multi-looking y la filtración espacial reducen el speckle a costa de la resolución.



Fuente de la Imagen: www.parbleu.biz/filter.htm



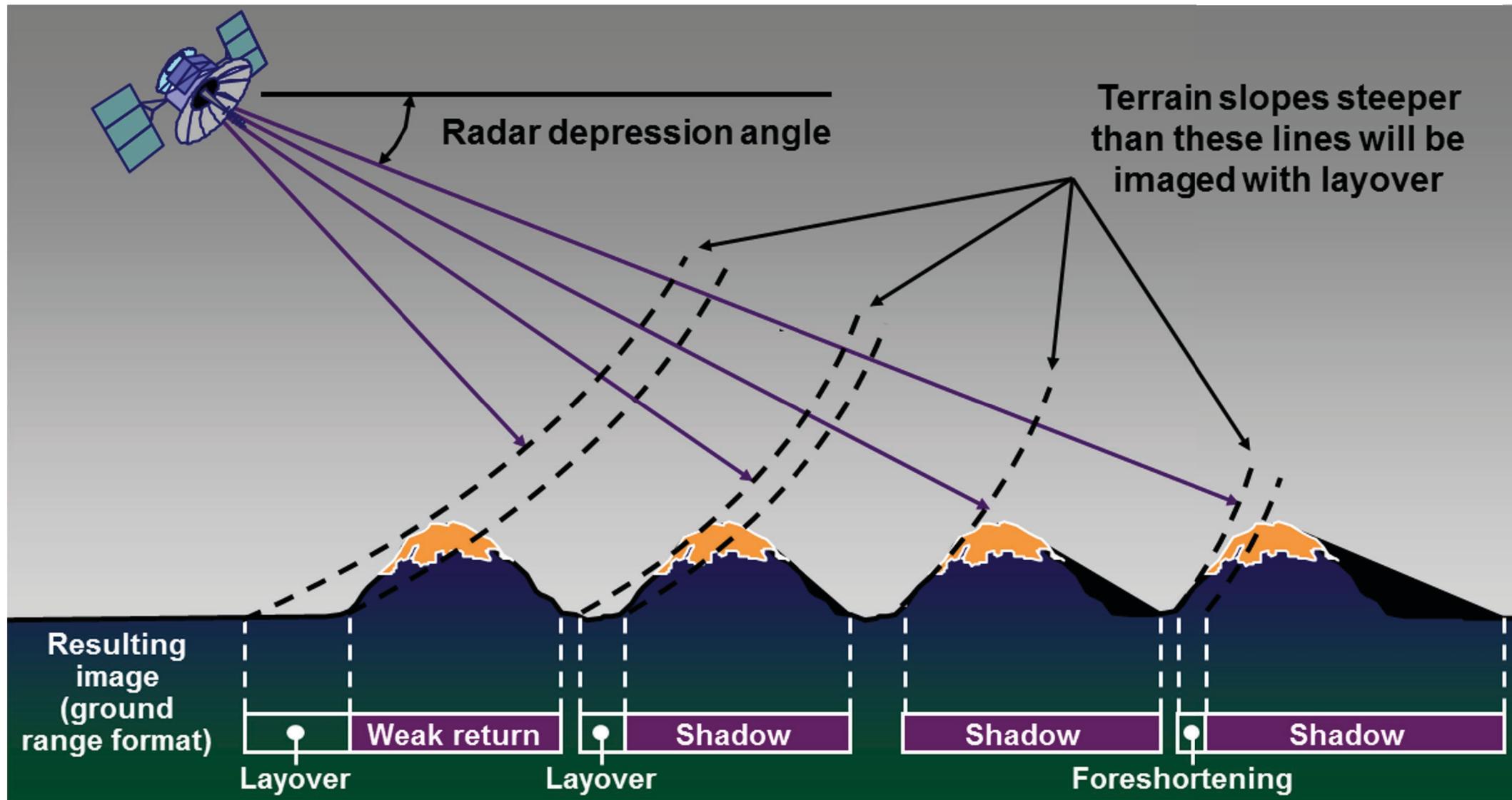
Multi-Looking

- **Imagen de Mirada Única (Single-Look):** Usa todo el retorno de la señal a un blanco para crear una imagen única.
- Puede que tenga speckle, pero la imagen tiene la mayor resolución lograble.
- Se pueden formar imágenes independientes de la misma área en el procesamiento digital de SAR usando subconjuntos de los retornos de la señal.
- Cada uno de los subconjuntos forma una imagen aparte (es decir, un "look" o una mirada) y cada una de estas observa un punto determinado desde un ángulo un poco diferente.
- La división de la apertura sintética (D) en L secciones que no solapan significa que cada una tiene una apertura efectiva de largo D/L ; **la resolución se degrada por un factor de L .**
- **Imagen Multi-Look:** Se promedian imágenes independientes para crear una imagen multi-look ("multi-mirada").
- La imagen multi-look resultante tiene una menor resolución, pero menos speckle.

Information Source: Oliver, C. and Quegan, S. Understanding Synthetic Aperture Radar Images; Artech House: Boston, MA, USA, 1998; p. 479.



Distorsiones Geométricas de la Señal de Radar





Impacto de las Características del Suelo y los Cultivos en la Respuesta de SAR

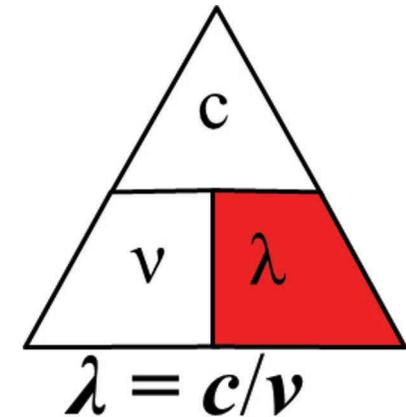
Longitud de Onda (λ) y Frecuencia (ν)

Debe elegir la mejor frecuencia.

- Considere el tamaño de los elementos del blanco en relación a la frecuencia del SAR. Para maximizar la dispersión, seleccione longitudes de onda que sean comparables en tamaño o más pequeñas que estos elementos.
- ¿Es importante penetrar en el blanco, o el objetivo es maximizar la dispersión de la superficie? Las frecuencias más bajas (longitudes de onda más largas) proporcionan una mayor penetración.
- ¿El objetivo es maximizar o minimizar la sensibilidad a la rugosidad de la superficie? Una onda de baja frecuencia verá una superficie como lisa mientras que una onda de alta frecuencia verá esta misma superficie como rugosa.

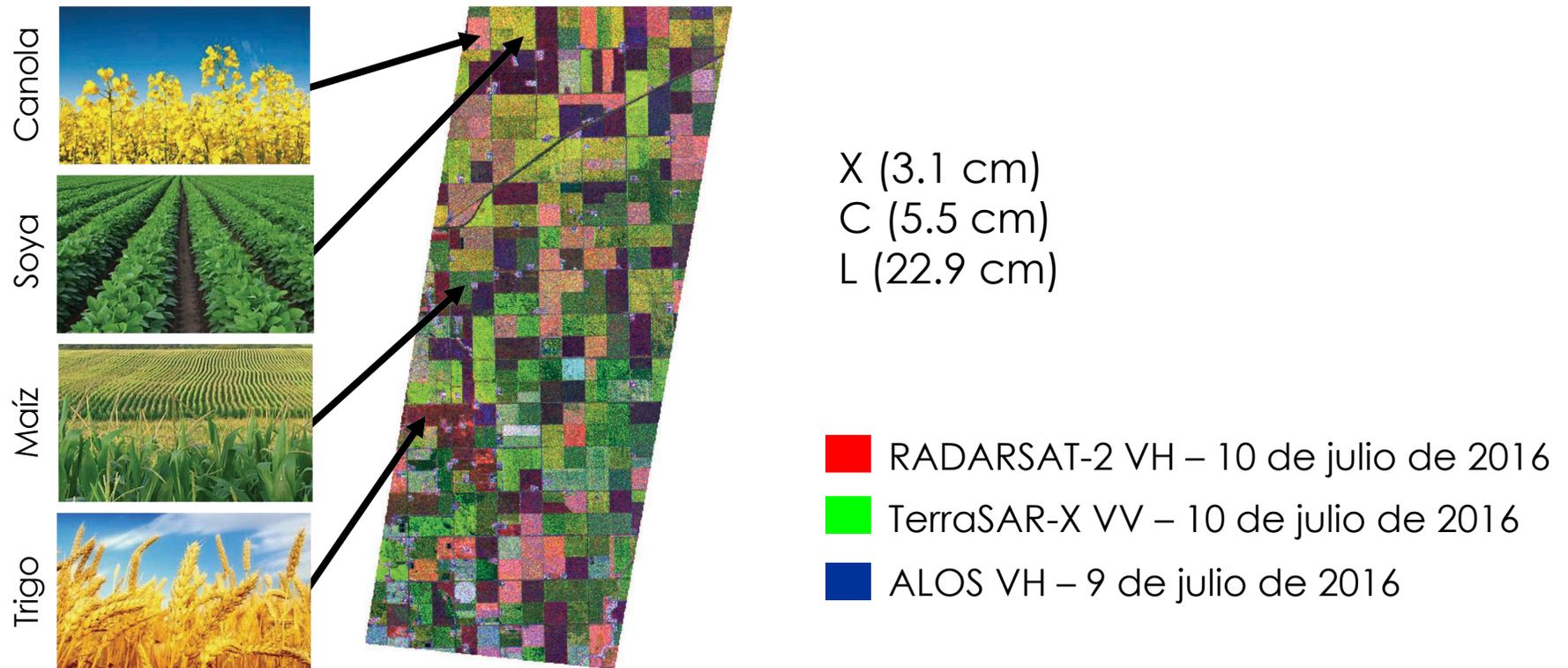
¿Cuál es la mejor frecuencia para el monitoreo agrícola? ¡Depende!

- Humedad del suelo: las longitudes de onda más largas (como la Banda-L) son mejores ya que penetran más profundamente en el dosel e interactúan con el suelo.
- Clasificación de cultivos y modelación biofísica: depende del dosel.
- Necesitamos suficiente penetración en el dosel (Banda-L o -C para el maíz, por ejemplo), pero no tan profunda como para tener interferencia en el suelo (Banda-C o -X para cultivos de menor biomasa como la soya).

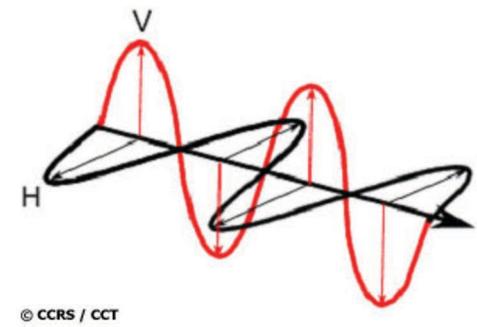


El Poder de las Frecuencias Múltiples

Integración de Datos de RADARSAT-2, ALOS y TerraSAR-X, Manitoba (Canada)



Polarización



La polarización del SAR determina:

- Cómo interactúan las microondas transmitidas con el blanco.
- Si el blanco (como la vegetación) tiene una estructura vertical dominante, las ondas con polarización V se alinean con esta estructura y crean una mayor dispersión. Con ondas con polarización H, menos energía interactúa con un blanco verticalmente estructurado y, con mayor frecuencia, las ondas se abren paso a través del dosel hasta el suelo.
- Al considerar las señales de transmisión y recepción, la cantidad de energía que se repolariza (de transmisión H a recepción V; de transmisión V a recepción H) para crear una respuesta de polarización cruzada (HV o VH), depende de la estructura del blanco.

¿Cuál es la mejor polarización para el monitoreo agrícola?

- HV o VH es la mejor polarización para la identificación de cultivos o la estimación biofísica de cultivos.
- La segunda mejor polarización suele ser VV.



¿Qué Características del Blanco Impulsan la Dispersión del SAR?

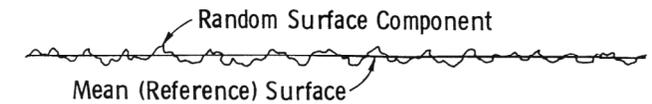
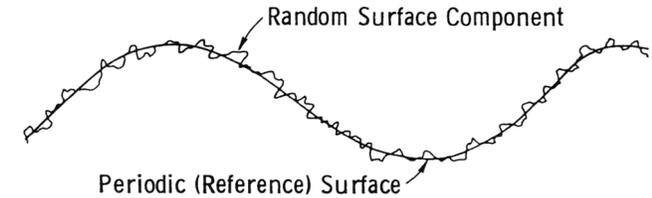
SARs responde a dos características fundamentales de un blanco:

(1) estructura o rugosidad y (2) contenido de agua.

Rugosidad: Caracterizado por dos parámetros: la varianza de la raíz cuadrada media (RMS) y la longitud de correlación de superficie (l).

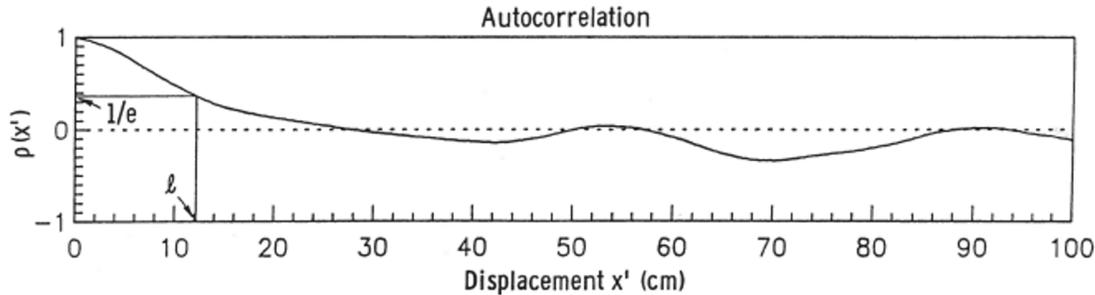
RMS: La variación estadística del componente aleatorio de la altura de la superficie en relación con una superficie de referencia (en mm o cm) (altura raíz cuadrada media [rms]).

Para superficies sin una estructura periódica, la superficie de referencia es simplemente la altura media de la superficie. Para superficies con una estructura periódica, la superficie de referencia no perturbada es la función polinomial ajustada a la estructura periódica.



Rugosidad de la Superficie

Longitud de Correlación (l): Una función de autocorrelación que mide la independencia estadística de las alturas de la superficie en dos puntos, separados espacialmente por una distancia x' . La longitud de correlación es igual a la distancia de desplazamiento x' para la cual $\rho(x')$ es igual a $1/e$. Si dos puntos están separados por una distancia mayor a l , sus alturas superficiales se consideran estadísticamente independientes.



Para una superficie perfectamente lisa, la altura de cada punto se correlaciona con la altura de todos los demás puntos y, por tanto, l es muy grande. A la inversa, las superficies aleatoriamente rugosas tienen longitudes de correlación cortas.

$\rho(x')$ is the autocorrelation
 e is Euler's number (2.71828)



Rugosidad como Función de Ángulo y Frecuencia

Una rugosidad menor a “h” sería vista como **lisa** por el SAR.

Ángulo de Incidencia de 30°	
TerraSAR-X (3.1 cm)	$h < 0.45 \text{ cm}$
RADARSAT-2 (5.6 cm)	$h < 0.81 \text{ cm}$
PALSAR (23.6 cm)	$h < 3.42 \text{ cm}$
Ángulo de Incidencia de 50°	
TerraSAR-X (3.1 cm)	$h < 0.60 \text{ cm}$
RADARSAT-2 (5.6 cm)	$h < 1.09 \text{ cm}$
PALSAR (23.6 cm)	$h < 4.59 \text{ cm}$

Criterio de Rayleigh $h < \frac{\lambda}{8 \cos \theta}$

TABLE I
AVERAGE RANDOM ROUGHNESS (s) VALUES-
BASED ON SINGLE TILLAGE OPERATIONS [12].

Tillage Operation	s (cm)	TerraSAR-X	RADARSAT-2	PALSAR
Large offset disk	5.0	Viewed by SAR as rough at 50°	Viewed by SAR as rough at 50°	Viewed by SAR as rough at 50°
Moldboard plow	3.2			
Lister	2.5			
Chisel plow	2.3			
Disk	1.8			
Field cultivator	1.5			
Row cultivator	1.5			
Rotary tillage	1.5			
Harrow	1.5			
Anhydrous applicator	1.3			
Rod weeder	1.0	Viewed by SAR as smooth at 50°	Viewed by SAR as smooth at 50°	Viewed by SAR as smooth at 50°
Planter	1.0			
No till	0.7			
Smooth	0.6	Viewed by SAR as smooth at 50°	Viewed by SAR as smooth at 50°	Viewed by SAR as smooth at 50°

— Viewed by SAR as smooth at 50°
— Viewed by SAR as rough at 50°

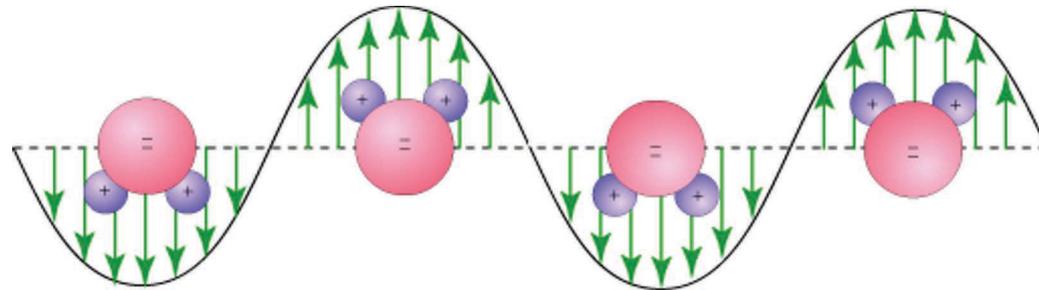
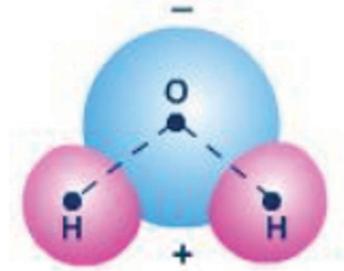
Jackson, T.J., McNairn, H., Weltz, M.A., Brisco, B. and Brown, R.J. (1997). First order surface roughness correction of active microwave observations for estimating soil moisture. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 35:1065-1069.



¿Qué del Agua en el Blanco?

SAR suele ser sensitivo a la humedad, pero ¿por qué?

- El agua (H₂O) es un dipolo. El lado del oxígeno de la molécula tiene una carga neta negativa, mientras que el lado con los dos átomos de hidrógeno tiene una carga eléctrica neta positiva.
- Cuando se aplica un campo eléctrico (como una microonda), la molécula de agua rotará y se alineará con este campo aplicado.



- Constante dieléctrica: una medida de la facilidad con la que las moléculas dipolares giran en respuesta a un campo aplicado.
- Constante dieléctrica (ϵ): un valor complejo que caracteriza tanto la permitividad (ϵ') (real) como la conductividad (ϵ'') (imaginaria) de un material.

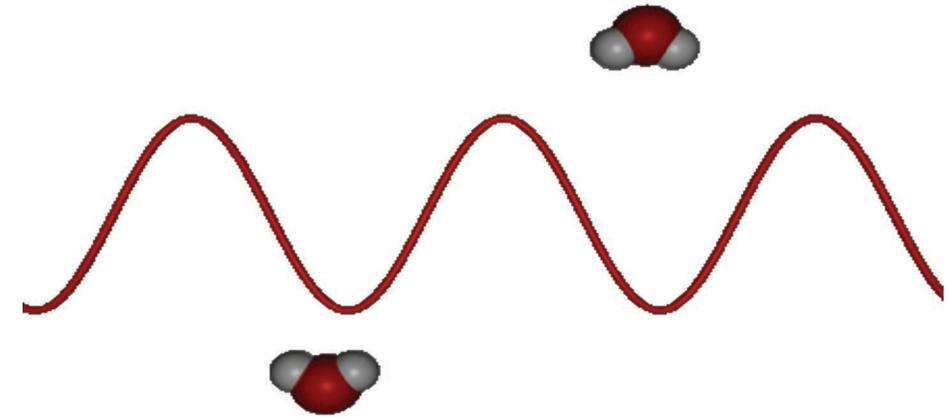
$$\epsilon = \epsilon' - j\epsilon''$$

- La dieléctrica real varía de ~ 3 (muy seco) a 80 (agua).



Microondas y Moléculas de Agua

- Una microonda continuará propagándose hasta encontrar una discontinuidad dieléctrica, como sucede cuando hay agua en el blanco.
- Cuando se aplica un campo eléctrico, las moléculas de agua libres (**no fuertemente unidas**) giran fácilmente para alinearse con el campo (de positivo a negativo).
- La resistencia friccional es baja y se pierde poca energía almacenada en la rotación cuando la onda pasa y la molécula se relaja. La mayor parte de la energía almacenada se libera.
- Si hay muchas moléculas de agua, se almacena y se libera una cantidad significativa de energía. Cuando hay poca agua, se almacena poca energía.
- Cuando se libera esta energía almacenada, y dependiendo de la estructura del blanco, esta energía se dispersará hacia la antena del radar.

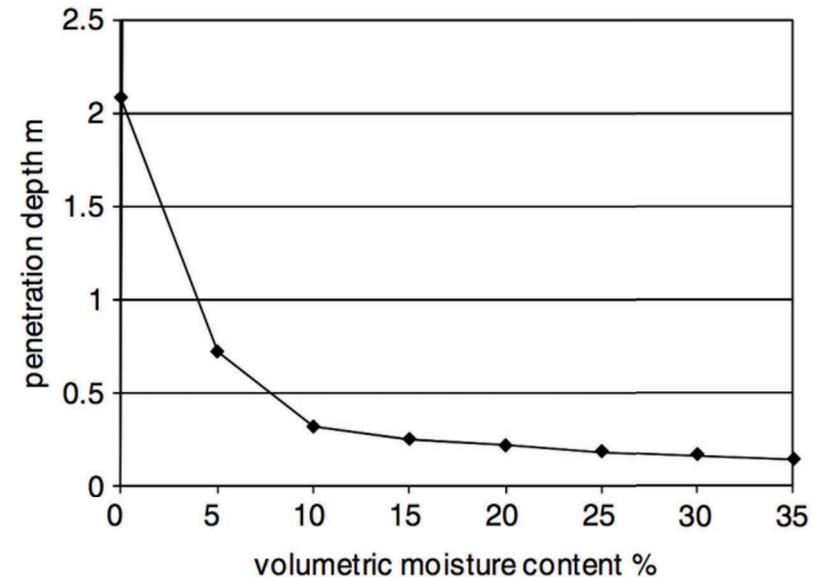


Profundidad de Penetración

- La penetración en el blanco depende de la frecuencia o longitud de onda del SAR.
- La profundidad de la penetración **TAMBIÉN** depende del agua en el blanco.
- La profundidad de penetración (δ_p) en el blanco se define por el dieléctrico (ϵ) y la longitud de onda (λ) y el ángulo de incidencia.
- La penetración aumenta con la longitud de onda y es mayor cuando el blanco (suelo o cultivo) está más seco.

Simulación de la profundidad de penetración del SAR en la arena, en función del contenido de humedad, a una longitud de onda de Banda-L de 23,5 cm.

Richards, J. A. (2009). Remote sensing with imaging radar. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 361 pp., DOI: 10.1007/978-3-642-02020-9



Efectos de la Vegetación

La escala es muy diferente a la óptica.

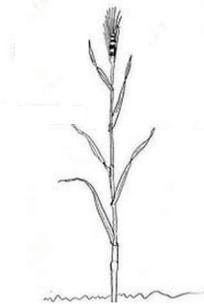
La dispersión de microondas de mayor longitud es impulsada por:

- Estructuras de mayor escala (tamaño, forma y orientación de hojas, tallos y frutos)
- El volumen de agua en el dosel de la vegetación (a nivel molecular)

Entonces, ¿por qué SAR es tan sensible al tipo de cultivo y su desarrollo?

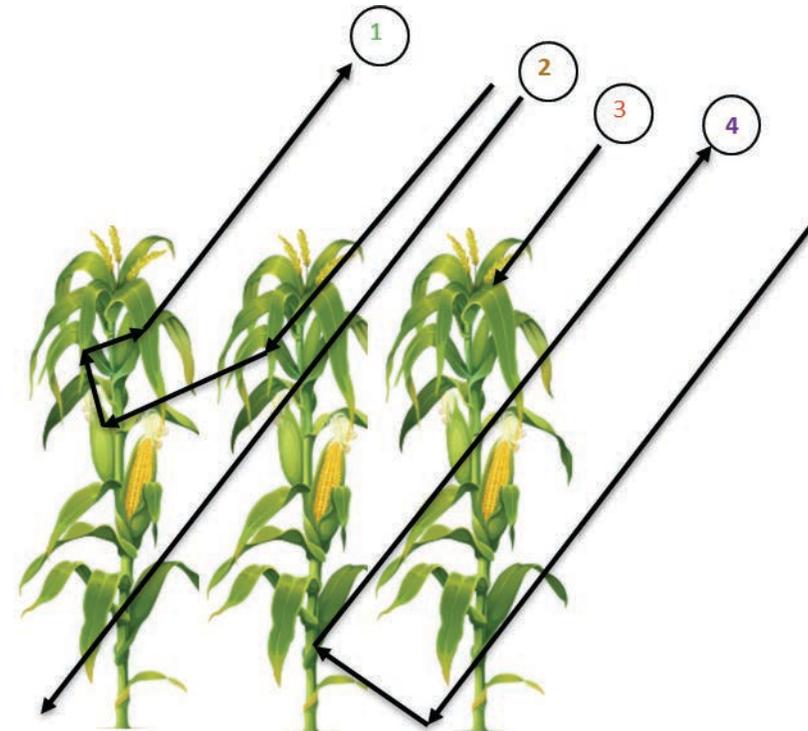
- La estructura de los cultivos cambia significativamente de un cultivo a otro y a medida que los cultivos pasan por sus etapas de crecimiento.

La estructura de los cultivos varía significativamente entre la soya, el trigo y el maíz. La estructura también cambia a medida que crecen los cultivos.



Dispersión de la Vegetación

- Si seguimos una onda al dosel, puede que:
 - Sea dispersada directamente **por una hoja**
 - Sea dispersada **de la hoja de un tallo/rama a otra hoja (varias veces)**
 - Llegue directamente hasta el suelo y sea dispersada directamente **desde el suelo**
 - Llegue **al suelo y luego sea dispersada desde un tallo/tronco/rama**
 - Tope con partes del dosel al salir
- Estos eventos de dispersión determinan cuánta energía regresará al sensor SAR y cómo cambiará la fase entre, por ejemplo, los componentes H y V.



1. **Multiple volume scattering from within canopy**
2. **Direct scattering from soil**
3. **Direct scattering from canopy**
4. **Double bounce scattering between soil and canopy**



Una Complicación: El Medio Ambiente

Siempre, siempre, siempre verifique las condiciones ambientales en el momento de la adquisición de imágenes antes de utilizar datos de SAR.

Regla no. 1: Nunca use SAR si estaba lloviendo en el momento de adquisición.

- **¿Por qué?** Aunque el SAR se considera "para todo clima", esto no incluye la obtención de imágenes durante eventos de lluvia, ya que el agua en la atmósfera ocasionará la dispersión del SAR. En algunas regiones del mundo, los riesgos son diurnamente dependientes.



Regla no. 2: Nunca use SAR para estimar la humedad del suelo si el suelo está congelado.

- **¿Por qué?** La constante dieléctrica cae cerca de cero cuando el agua cambia a un estado congelado. Por lo tanto, incluso si hay agua en el suelo, el SAR lo verá como seco. SAR puede detectar eventos de congelación/descongelación. La congelación a menudo ocurre durante la noche.



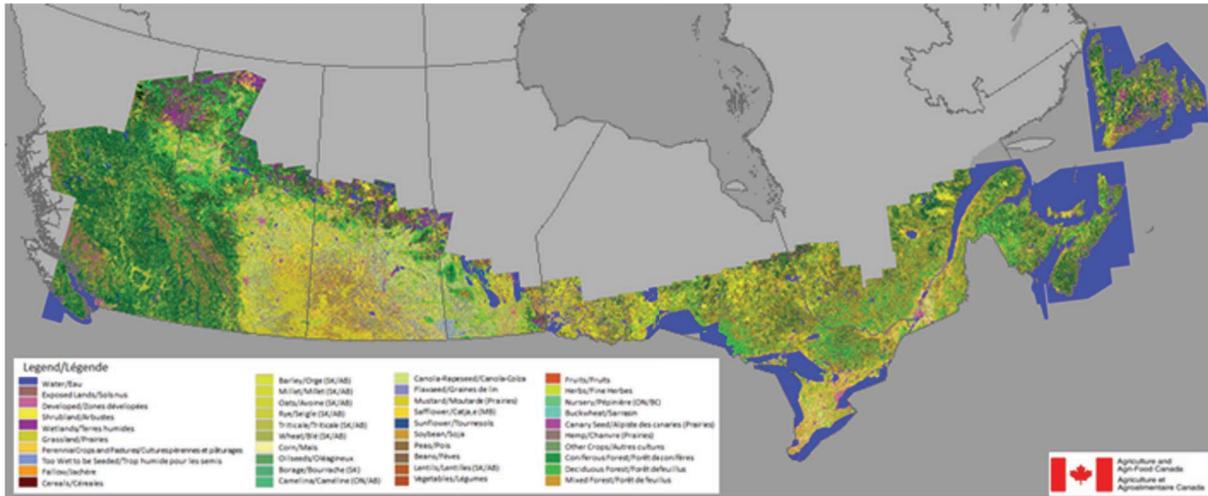
Una Complicación: El Medio Ambiente

Regla no. 3: Considere si podría haber rocío durante las adquisiciones matutinas.

- **¿Por qué?** La presencia de agua en las hojas aumentará la retrodispersión (un gran problema para la modelación biofísica). Si el agua en el dosel es significativa (justo después de la lluvia), se podría reducir el contraste entre los objetivos. El rocío es más prominente en las regiones templadas en las primeras horas de la mañana.
- Seleccione las órbitas (ascendente - tarde; descendente - mañana) con cuidado.
- Siempre consulte con las estaciones meteorológicas.



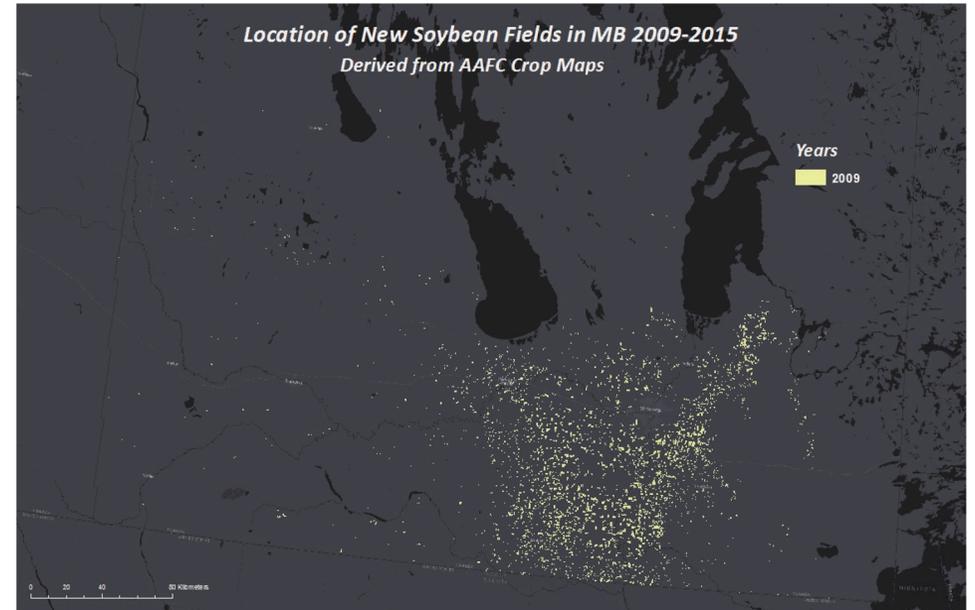
Mapeo y Monitoreo de Cultivos



Fuente: ACGEO Division of Science and Technology Branch, AAFC
Contact: Andrew.Davidson2@Canada.ca, Thierry.Fisette@Canada.ca,
and Leander.Campbell@Canada.ca

Agricultura y Agroalimentación de Canadá lleva a cabo una operación anual para mapear cultivos en todo Canadá.

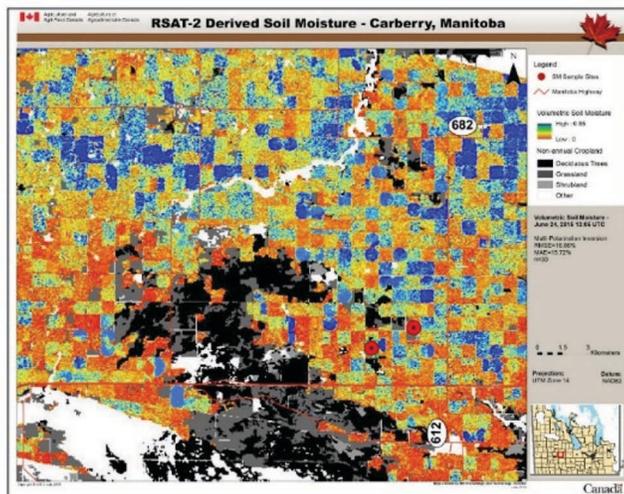
El Inventario Anual de Cultivos (ACI) utiliza satélites SAR y ópticos como garantía para una recopilación de datos y precisión de mapas sólidas.



Esta animación muestra los cambios en el lugar donde se sembró la soya en Manitoba de 2009 a 2015, según estos mapas de cultivos anuales.



Humedad del Suelo a Escala de Campo



El Modelo de Ecuación Integral (IEM) es un modelo de dispersión con base física que se puede utilizar para estimar la humedad volumétrica del suelo de la superficie (0-5 cm) (m^3 / m^3).

El IEM se puede utilizar con imágenes SAR que incluyen polarizaciones HH y VV.

El IEM también se puede ejecutar en modo híbrido (polarizaciones HH + VV con imágenes recopiladas en dos ángulos de incidencia).

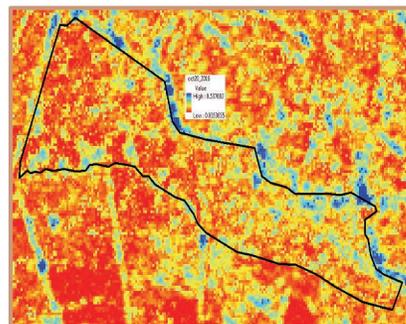
La implementación de IEM está disponible en SNAP (Soil Moisture Toolkit)..

Monitoreo de Requisitos de Irrigación en Chile (**Mojado=Azul**)

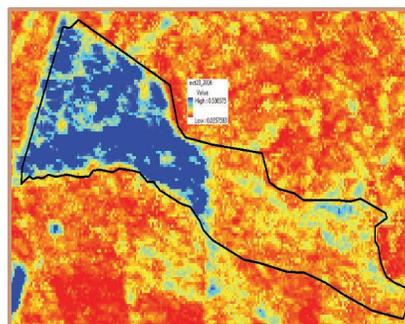
Las plántulas de achicoria necesitan suficiente humedad del suelo.



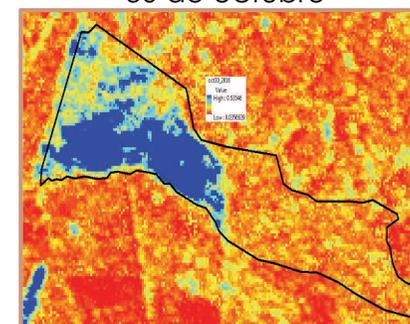
Condiciones Secas:
20 de Octubre



Irrigación Ocurre:
23 de octubre



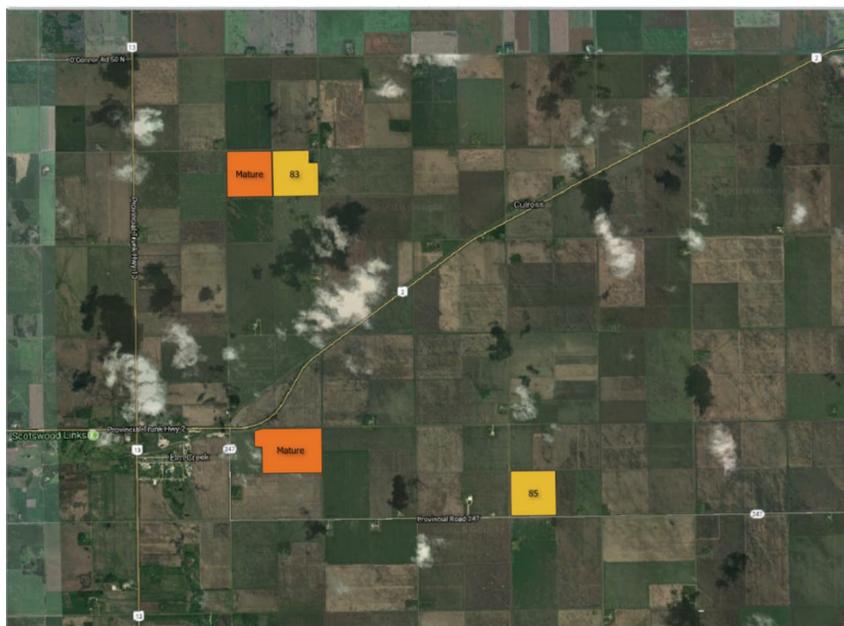
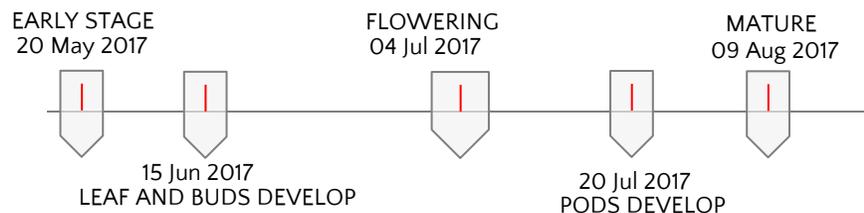
Secado Post-Irrigación:
30 de octubre



Merzouki, A. and McNairn, H. (2015). A hybrid (multi-angle and multipolarization) approach to soil moisture retrieval using the integral equation model: preparing for the RADARSAT Constellation Mission. Canadian Journal of Remote Sensing, 41:349-362. doi: 10.1080/07038992.2015.1104629



Observando la Canola Crecer desde el Espacio: ¿Cuándo Florecerá la Canola?



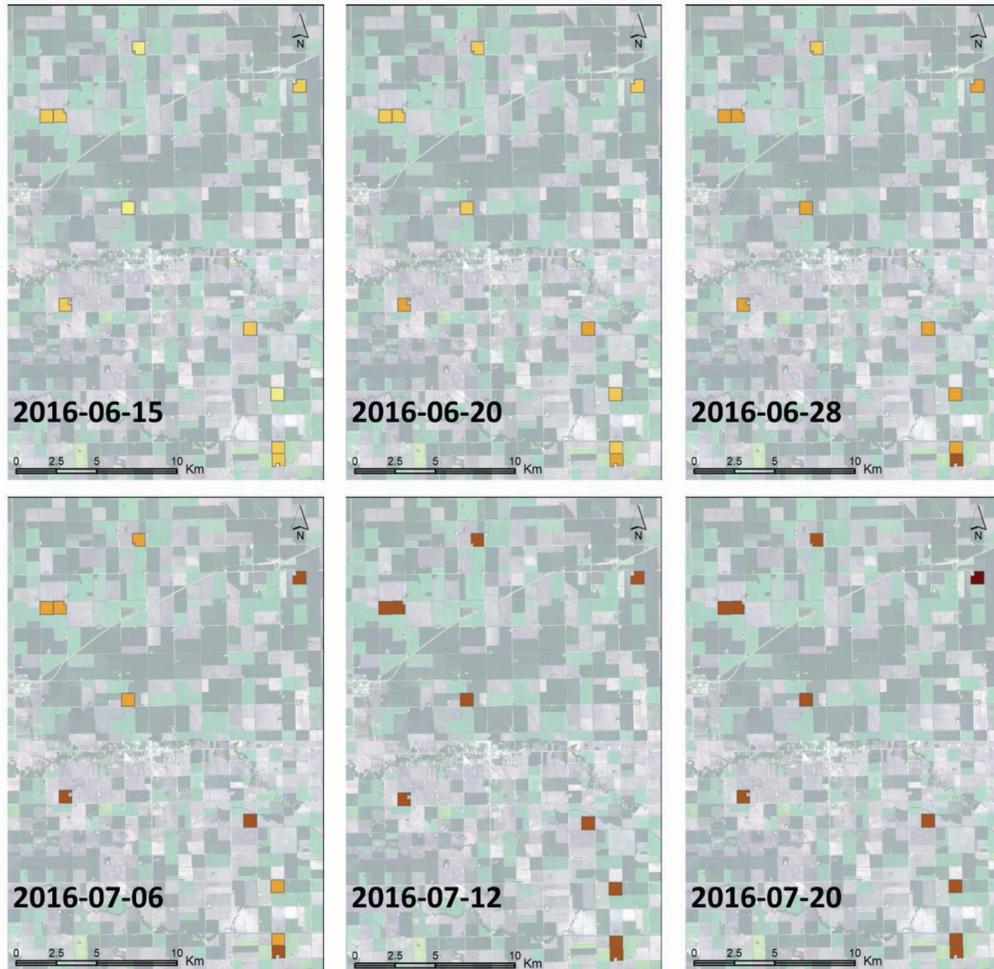
McNairn, H., Jiao, X., Pacheco, A., Sinha, A., Tan, W., and Li, Y. (2018). Estimating canola phenology using synthetic aperture radar, *Remote Sensing of Environment*, 219: 196-205.



A.U.G. Signals Ltd., Toronto, Canada



Índice de Vegetación Basado en Radar

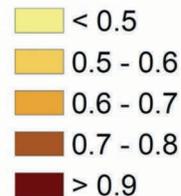


El índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) se usa de manera ubicua para la agricultura de precisión y el monitoreo de la condición de los cultivos de regional a global, pero las nubes interfieren con los satélites ópticos.

AAFC ha desarrollado un NDVI calibrado por radar. Este SARcal-NDVI estima la condición del cultivo (de 0 a 1, como NDVI) pero utilizando satélites de radar.

La AAFC ha acoplado el SARcal-NDVI con un Modelo de Dinámica de la Estructura del Cultivo (CSDM) para estimar la condición del cultivo a escala de campo y en un intervalo de tiempo diario.

SAR_{cal}-NDVI



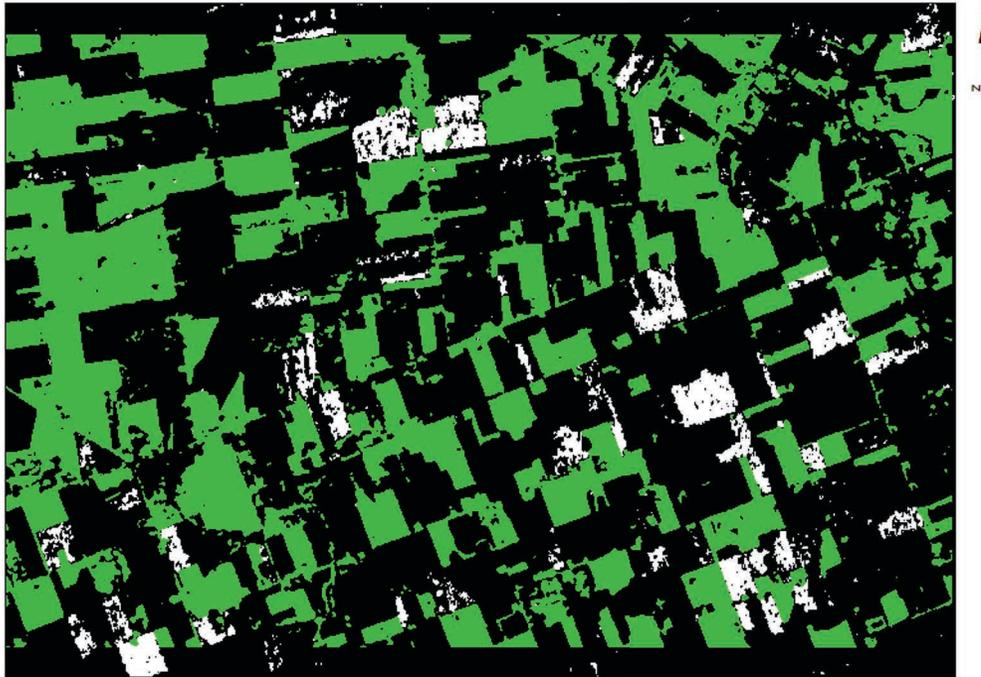
NDVI calibrado con SAR para cultivos de canola en Carman, Manitoba (Canadá) del 15 de junio al 20 de julio).

Jiao, X., McNairn, H. and Dingle Robertson, L. (2021) Monitoring crop growth using a canopy structure dynamic model and time series of Synthetic Aperture Radar (SAR) data, International Journal of Remote Sensing, in press.



Seguimiento de Eventos de Labranza

Blanco: El suelo ha sido perturbado entre el 31 de octubre y el 12 de noviembre de 2020
Fuente de la Imagen: Sentinel-1 modo IW

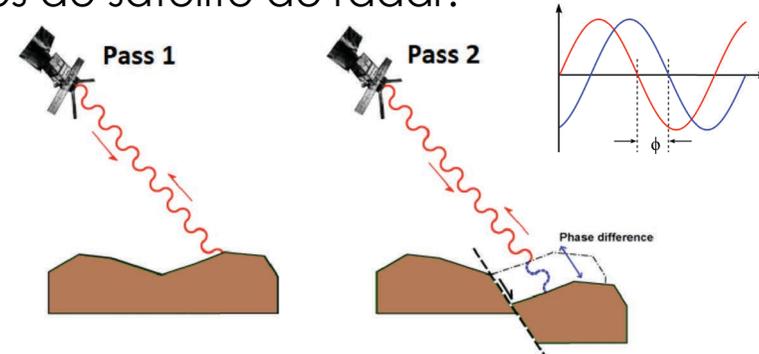


Blanco – Alerta Negro – No Hay Alerta Cobertura Verde

Los cambios de fase registrados por SAR se pueden utilizar para detectar cambios en la altura del suelo.

Los radares miden la distancia a la Tierra, y cuando la altura de la Tierra cambia, los radares miden este cambio de fase.

Estos cambios de fase pueden correlacionarse con la labranza y usarse para desarrollar alertas que determinen que el suelo ha sido alterado entre pares de adquisiciones de imágenes de satélite de radar.

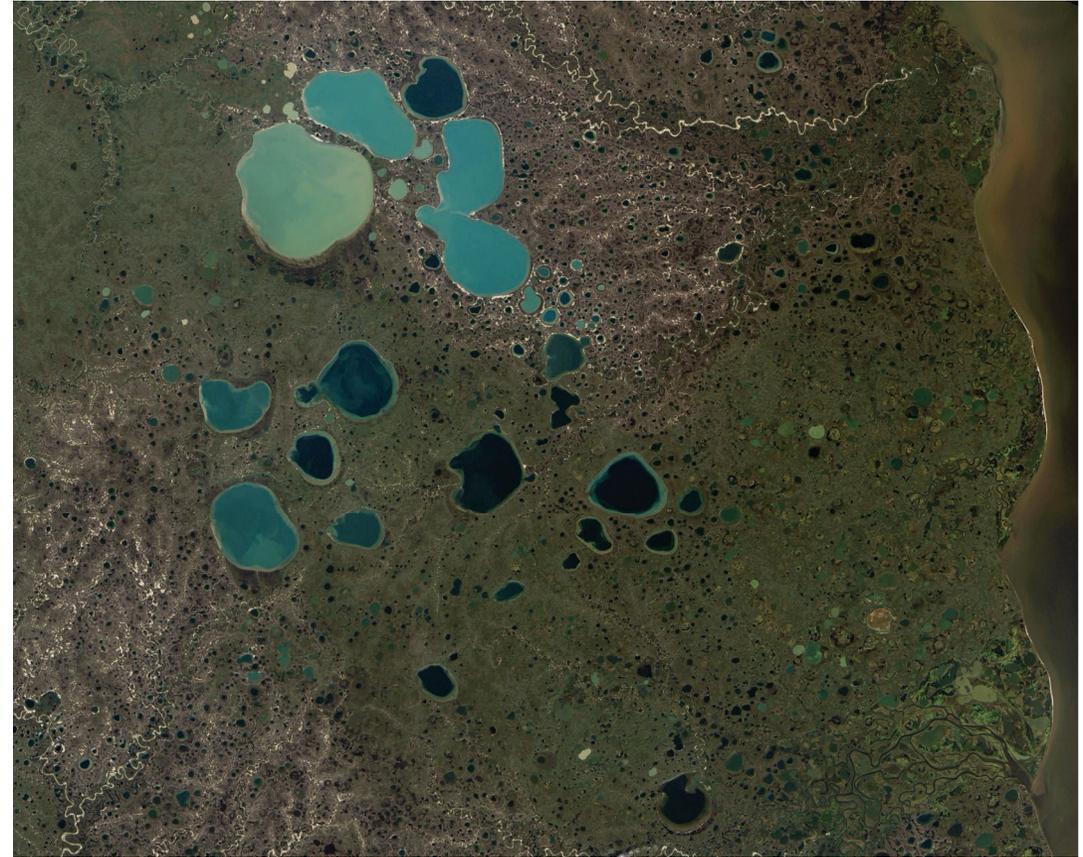


Fuente de la Imagen: Castellazzi, Pascal & Schmid, Wolfgang. (2020). Ground displacements in the Lower Namoi region. 10.13140/RG.2.2.20466.53442.



¿Preguntas?

- Por favor escriban sus preguntas en el cuadro para preguntas. Las responderemos en el orden que las recibimos.
- Publicaremos las preguntas y respuestas en la página web de la capacitación después de la conclusión del webinar.



<https://earthobservatory.nasa.gov/images/6034/pothole-lakes-in-siberia>



Contactos

- Capacitadora:
 - Heather McNairn: Heather.McNairn@AGR.GC.CA
- Página Web de la Capacitación:
 - <https://appliedsciences.nasa.gov/join-mission/training/spanish/arset-clasificacion-de-cultivos-agricolas-con-radar-de-apertura>
- Página de ARSET :
 - <https://appliedsciences.nasa.gov/what-we-do/capacity-building/arset>
- Twitter: [@NASAARSET](https://twitter.com/NASAARSET)





¡Gracias!

